

ÍNDICE DE CAMINABILIDAD

Aplicado en la Almendra Central de Madrid

Sofía Fontán Suárez



Dirigido por: Dr. Javier Gutiérrez Puebla

**MASTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
2011/2012**

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



INDICE

1. Introducción.	4
1.1. Interés del tema.	4
1.2. Objetivos.	6
1.3. Estructura del trabajo.	6
2. Marco teórico-metodológico.	7
3. Fuentes y Metodología.	14
3.1. Datos de partida.	15
3.2. Variables.	16
3.2.1. Indicador de arbolado.	17
3.2.2. Aceras.	20
3.2.3. Pendiente.	22
3.2.4. Seguridad.	24
3.2.5. Comercio.	26
3.2.6. Variedad de usos del suelo.	29
3.2.7. Conectividad / Sinuosidad.	33
3.3. Creación del Indicador de “Caminabilidad”.	34
3.3.1. Normalización de las variables.	34
3.3.2. Método basado en la media aritmética.	38
3.3.3. Método basado en la media ponderada.	38
4. Resultados.	41
5. Conclusiones.	46
6. Referencias.	47

Agradecimientos

INDICE DE TABLAS Y MAPAS

Tabla 1. Características y las principales conclusiones de los estudios que examinan las relaciones de los atributos ambientales con un resultado principal de la “caminiabilidad”	11
Mapa 1. Área de estudio en referencia a la distribución de los distritos de la ciudad de Madrid.	14
Mapa 2. Situación de los árboles con respecto a la capa Eje Vial. Detalle del entorno del Paseo de las Delicias.	17
Mapa 3. Indicador de arbolado para cada una de las calles de la Almendra Central.	18
Mapa 4. Ejemplos de bajo, bajo-medio, medio y alto Indicador de Arbolado.	19
Mapa 5 y 6. Detalle del entorno de un tramo de la calle Alcalá, próximo al Parque de El Retiro: situación de las aceras con respecto a los ejes viales; y detalle de la zona de Fuencarral: situación de los portales con respecto a los ejes viales.	20
Mapa 7. Resultado final de hallar el ancho de las aceras para cada una de las calles de la Almendra Central de Madrid.	21
Mapa 8. Pendientes correspondientes a cada una de las calles de nuestra área de estudio.	23
Mapa 10. Resultados de determinar cuántos incidentes se han producido en cada una de las calles.	25
Tabla 2. Ramas de actividad del CNAE 93.	26
Mapa 11. Situación de los comercios con respecto a los ejes viales. Detalle del entorno de Bravo Murillo.	27
Mapa 12. Número de establecimientos en cada una de las calles.	28
Mapa 13. Usos del suelo por distritos.	30
Tabla 3. Resultado por distritos de la fórmula de entropía para los usos del suelo.	31
Mapa 14. Resultados de realizar la fórmula de entropía.	32
Mapa 15. Resultado de normalizar los datos del campo “comercio”.	35
Mapa 16. Resultado de normalizar el campo que contiene las pendientes de cada una de las calles de la Almendra Central de Madrid.	36
Tabla 4. Pesos asignados a cada una de las variables utilizadas en el Índice de “Caminabilidad”, en función de su importancia.	39

Mapa 17. Resultado de realizar la media aritmética del conjunto de variables utilizadas para nuestra área de estudio.	41
Mapa 18. Resultado de realizar la media ponderada con los pesos de Tipo 1 para el conjunto de variables de la Almendra Central de Madrid.	42
Mapa 19. Resultado de realizar la media ponderada con los pesos de Tipo 2, para el conjunto de variables utilizadas.	43

1. INTRODUCCIÓN.

Desde hace unos años hasta la actualidad, tanto a nivel europeo como mundial, es notable el interés que tienen las distintas instituciones por mejorar el ambiente urbano de las ciudades, con la finalidad de que este sea un medio más sostenible, donde la calidad de vida de sus habitantes se acreciente.

En el caso de la Unión Europea, principalmente desde el 2004, se está trabajando en una estrategia donde se fijan medidas de cooperación y orientaciones para renovar el medioambiente urbano, centrándose fundamentalmente en que las ciudades intercambien experiencias, con el fin de mejorar las prácticas llevadas a cabo por las administraciones locales, de tal forma que la legislación sea eficaz en lo que concierne a este tema (Comisión Europea, 2004).

Uno de los aspectos que se intenta mejorar y reducir es el impacto del transporte motorizado, sobre todo su relación con el medioambiente y la salud de la población, ya que el tráfico es una de las principales fuentes de agentes atmosféricos contaminantes. Para ello se intenta fomentar los viajes no motorizados, como son la bicicleta o los viajes a pie, ya que contribuyen a que se reduzcan los atascos en las ciudades, que disminuya el consumo del combustible y que, por lo tanto, aumente la calidad del aire en estos entornos y la población mejore su calidad de vida al aumentar la actividad física, además de beneficios sociales, como la integración social.

Entonces, como podemos observar y deducir, son varios los beneficios de la reducción en la utilización de los vehículos en las ciudades, por lo que incluir en la planificación urbana, análisis sobre como promocionar e introducir tanto la utilización de la bicicleta como de entornos más peatonales, es un hecho importante a la hora de lograr un entorno urbano más sostenible.

En lo que se refiere al tema de nuestro trabajo, es fundamental diseñar las ciudades con el objetivo de aumentar los recorridos a pie, es decir, que tengan un alto índice de “caminabilidad”, logrando que cada zona sea propicia para este tipo de desplazamientos, consiguiendo una ciudad más caminable o “paseable” (Pozueta 2000)

1.1. Interés del tema.

En lo concerniente a la “caminabilidad” de los entornos urbanos, principalmente nos interesa lo relacionado con aquellos atributos que hacen que un entorno sea más agradable o atrayente para el caminante. Pues, como veremos, las características del entorno tienen un peso muy importante en la elección de una ruta u otra por parte de la población.

¿Y por qué es importante analizar y desarrollar trabajos sobre “caminabilidad” en las ciudades? Porque, como hemos mencionado al principio, unido al uso de la bicicleta, ambos suponen uno de los elementos claves en la recuperación de los entornos urbanos modernos, así como notables mejoras en la salud de sus habitantes y, por lo tanto, que se pueda conseguir que la ciudad sea sinónimo de sostenibilidad ambiental.

Si concretamos, en lo referente a la recuperación y mejoras en el entorno urbano, el análisis de los atributos de este en relación con la “caminiabilidad”, pueden ayudar a que la planificación de determinadas zonas o barrios se lleve a cabo de la forma más adecuada, sin caer en los excesos ni en la escasez, tanto en lo referente a las mejoras realizadas en el barrio como del presupuesto del proyecto. Por ejemplo: nos puede ayudar a establecer donde concentrar las inversiones o donde existen oportunidades para aumentar la actividad física, así como aspectos más concretos, como es el caso de la detección de aquellos lugares que tienen una buena conectividad y se caracterizan por unos niveles elevados de usos mixtos o, por el contrario, zonas que son compactas y tienen usos mixtos pero su conectividad es menor, para llevar a cabo los cambios necesarios para cada uno de los casos. En definitiva, el desafío radica en identificar las correlaciones más destacadas de la “caminiabilidad” para guiar la creación de entornos peatonales (Leslie et al. 2007) y que este tipo de movilidad se integre en la elaboración y seguimiento de las política de movilidad urbana (Secretaria de Estado de Transporte, 2010).

Estos entornos peatonales suelen identificarse con la presencia de aceras, pero son muchos otros elementos los que hacen que una zona sea calificable como peatonal y que, por lo tanto, no exista una forma precisa de describirlos. Algunos de ellos, y que, como veremos en siguientes apartados, fueron utilizados por distintos autores para abordar este tema y que, además, nosotros mismos vamos a utilizar integrándolos en un SIG, son: la accesibilidad, la estética y la seguridad; o, de una forma más concreta: conexiones al destino, acceso a instalaciones de recreo, cobertura arbórea, densidad residencial, variedad de usos del suelo, etc. (Shay et al. 2003).

Otra de las razones por las cuales este tipo de estudios se deberían de llevar a cabo, es por la relación existente entre “caminiabilidad” y salud. Como veremos más adelante, analizar esos parámetros o características del entorno urbano pueden ayudarnos a identificar qué factores son los que influyen en que una persona sea físicamente activa y que, por lo tanto, determinadas enfermedades relacionadas con la inactividad física se puedan reducir. Podemos decir, que estos análisis pueden suponer una contribución más que destacada en las políticas de salud pública (Leslie et al. 2007), contribuyendo a que la población adquiera unos hábitos más saludables.

En general, podemos decir que investigar y realizar un índice de “caminiabilidad” para una determinada ciudad o zona, va a ser muy beneficioso, tanto para el entorno como la población que reside y camina en él. Y si estos estudios los introducimos y combinamos con otros, como pueden ser los planes de movilidad urbana, el objetivo de una ciudad sostenible estará más cerca que nunca.

1.2. Objetivos.

En general lo que pretendemos, es desarrollar una metodología de análisis que nos ayude a determinar qué zonas de la Almendra Central de Madrid son las más adecuadas para caminar y cuáles son las que necesitan que se mejoren. Este dato lo podemos obtener a partir del Índice de “Caminabilidad”, el cual está formado por un determinado conjunto de variables que nos van a permitir analizar dicho parámetro, el cual es el principal objetivo de nuestro trabajo.

Entonces, como veremos, el primer paso de este estudio será seleccionar aquellas variables que pensemos que pueden tener una influencia destacada en nuestro entorno. Y esto lo haremos, tras examinar determinados trabajos que están relacionados con la “caminabilidad”, independientemente de sus objetivos. Este paso es primordial, ya que la selección de una u otra variable dependerán del área de estudio y de sus características.

Todo ello, lo efectuaremos a través de los Sistemas de Información Geográfica, porque nos proporciona todas las herramientas necesarias para lograr un buen desarrollo de nuestro trabajo.

1.3. Estructura del trabajo.

Tras explicar cuáles son los objetivos y a donde queremos llegar con este trabajo, vamos a proceder a realizar una revisión de la bibliografía, examinando como los distintos autores han abordado este tema, que líneas de investigación han seguido o en qué aspectos se ha centrado.

A continuación, explicaremos de una forma concisa las principales características del área de estudio, para posteriormente exponer los datos de partida y la metodología que se ha empleado, centrándonos, primero, en las variables seleccionadas y, en segundo lugar, en la elaboración del Índice de “Caminabilidad”. Seguidamente, mostraremos los resultados obtenidos y, por último, unas conclusiones finales sobre el trabajo.

2. MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO.

La “camínabilidad” de una comunidad podemos definirla como la medida en que las características el entorno construido y el uso del suelo pueden o no ser propicias para movimientos de a pie para los residentes de una determinada zona, ya sea para desarrollar actividades de ocio, ejercicio o la recreación, o para acceder a los servicios, viajar o trabajar (Leslie et al. 2007). Como veremos, son las propias características del entorno, las que van a posibilitar que una determinada persona o grupo de personas decidan caminar por una calle en concreto y no por otras. Por lo que es muy importante e interesante analizarlas, con el fin de observar en qué grado influyen y como lo hacen en los distintos aspectos de nuestra vida cotidiana.

Son muchos los autores que han abordado este tema desde diferentes perspectivas, haciendo un análisis práctico o simplemente teórico, exponiendo que ideas o aspectos se deberían tener en cuenta y cuáles serían los principales objetivos a seguir.

Uno de los análisis más recurrentes y, del cual existe una extensa bibliografía sobre ello, es la relación existente entre la “camínabilidad” y la salud de la población. Las investigaciones se centran en explicar cuáles son los aspectos a mejorar en el entorno de una determinada ciudad, con el fin de lograr que la población adquiera hábitos más saludables y ayudar en la prevención de enfermedades crónicas. Por ejemplo, en los últimos años la falta de actividad física y la obesidad son dos de los problemas que más están preocupando a los expertos estadounidenses. Relacionado con ello, Zhu et al. (2008) utiliza los Sistemas de Información Geográfica para medir la seguridad y la “camínabilidad” a nivel de barrio y de calle, con la finalidad de averiguar qué aspectos son los que se deben de mejorar en el entorno de Austin (Texas), principalmente en aquellas zonas donde los ingresos son bajos y existen minorías étnicas, para lograr que la población aumente su actividad física.

Otros se centraron en el análisis de la relación existente entre el entorno y el Índice de Masa Corporal (IMC) y la obesidad, en un determinado número de adultos residentes en la ciudad de Nueva York (Rundle et al. 2009). En cambio, Rosenberg et al. (2009) examinaron las propiedades psicométricas de la población joven, en cómo estas influyen en que decidan caminar en un barrio y qué relación pueden llegar a tener con la actividad física. Este análisis lo llevaron a cabo realizando encuestas sobre como ellos perciben el entorno, es decir, como valoran la existencia de la mezcla de usos, la disponibilidad de instalaciones de recreo, la seguridad, la estética, la conectividad de las calles, la densidad residencial, entre otros muchos aspectos.

También, es interesante el artículo de Greenberg y Renne (2005), que realizan una encuesta a tan solo 340 personas, para vincular la “camínabilidad” de un determinado barrio de New Jersey con la inactividad física y las enfermedades que ello conlleva. Al final del artículo, los autores piden a todos los ciudadanos que colaboren para que los resultados de las encuestas sean más acertados, de forma que los cambios que se puedan llevar a cabo en ese barrio sean lo más adecuado posible.

Otros, como Frank et al. (2007), se centran en analizar qué patrones de los usos del suelo pueden afectar negativamente a la salud; llegando a la conclusión de que si el

entorno estimula la utilización de los vehículos, esto provoca el aumento de emisiones contaminantes, teniendo como consecuencia la disminución de la calidad del aire, y, además, tiende a reducir la actividad física, contribuyendo al aumento de la obesidad y del riesgo de enfermedades crónicas.

Y por último, cabría mencionar a autores como Giles-Corte y Donovan (2003), que llevan a cabo un análisis con una finalidad diferente a los anteriores, aunque en el fondo sus objetivos son similares. Este no es otro que intentar averiguar y concretar la relación existente entre “caminiabilidad” y salud, si la primera es en verdad beneficiosa para la segunda. El método que utilizan es, igual que otros casos, el análisis de encuestas, que fueron geocodificadas en un SIG, y en ellas se tienen en cuenta aspectos como el acceso espacial a las instalaciones recreativas, ya sean construidas o naturales, las características del medioambiente funcional (por ejemplo: existencia de sendas peatonales, tipo de calles, tiendas, etc.) o la cobertura arbórea.

Otro de los análisis más frecuentes y que más interés despierta para nuestro trabajo, son aquellos que se centran en explicar las razones por las cuales unas zonas tienen un índice de “caminiabilidad” más alto que otras, principalmente en lo referente a las características del entorno. En general, y como veremos a continuación, hay unos determinados atributos que son comunes en los artículos, ya que pueden tener una influencia más directa en el índice de “caminiabilidad”.

Por ejemplo, Owen et al. (2007) realizaron un análisis SIG para crear dicho índice e identificar las variaciones existentes entre los barrios seleccionados para el estudio en la ciudad de Adelaida (Australia). El índice se calculó a nivel de distrito, utilizando como atributos ambientales: la densidad de vivienda, la conectividad de la calle, la mezcla de los usos del suelo y la zona comercial neta. Pero no tienen en cuenta aspectos como el acceso a zonas recreativas o la calidad del medioambiente peatonal (por ejemplo: mantenimiento de la acera o la estética). Los resultados obtenidos sugieren que la población que vive en ambientes que son calificados como más transitables, podrían tender a realizar más viajes a destinos cercanos, lo que podría tener como consecuencia la reducción de los viajes de vehículos de motor.

Mientras, Saelens et al. (2003) utilizan principalmente 2 conceptos en el índice, similares al anterior estudio: la proximidad o distancia, que está determinada por la densidad de los usos del suelo y su mezcla, y la conectividad entre el punto de partida y el de destino, que mide la inmediatez de la vía entre calles, tiendas y lugares de trabajo. Por ejemplo, con respecto a este último atributo, cuando hay muchas calles con muchas interconexiones, con un patrón establecido de cuadrícula regular, se facilita el caminar. Con ello, llega a la conclusión de que cuanto más compacta sea la zona y más variedad de usos hay, más corta será la distancia entre el inicio y destino de un determinado trayecto.

Humpel et al. (2004) a través de encuestas telefónicas llegaron a la conclusión de que vivir en una zona costera está asociado a la existencia de una mayor probabilidad de caminar. Los atributos que utilizaron para su análisis, fueron la estética del barrio, el tráfico, la comodidad de las instalaciones y el acceso a los servicios. Principalmente,

determinan que una mejora en la comodidad percibida del entorno de vecindad puede estar asociada al aumento del tiempo del trayecto que se hace caminando.

Otro caso de integración de atributos en un SIG es el realizado por Leslie et al. (2007). La diferencia principal con respecto a los casos anteriores es que añade datos del censo para cada uno de los distritos de Adelaida (Australia), para que el índice que se cree a este nivel. Los otros atributos que utilizan son comunes a los otros, como por ejemplo: la densidad de la vivienda, la conectividad, los usos del suelo, su zonificación o la superficie comercial. Con respecto a los resultados, hay que mencionar que el índice elaborado por Eva Leslie y sus compañeros no capta la presencia de aceras y otras infraestructuras críticas, como consecuencia de la falta de datos. Además, no incluyen atributos como la presencia de parques o centros recreativos; presencia, condición y continuidad de los caminos; las distancias existentes a las instalaciones; la accesibilidad de tránsito; factores relacionados con las características naturales, como la topografía o barreras físicas; y otros aspectos del diseño urbano, como el diseño de edificios y su orientación, el alumbrado, etc.

Otro aspecto destacado, es la medición que hacen de la conectividad. Esta se basa en el número de conexiones únicas en cada intersección o las posibles rutas que hay disponibles en cada una; se mide en función del número de intersecciones por km² dentro de cada distrito. En cuanto a la medición de los atributos del uso de la tierra, lo explicaremos en siguientes apartados, ya que la vamos a utilizar con el fin de determinar si existe variedad de usos o, por el contrario, hay predominancia de un solo tipo. Esto, añadido a los restantes atributos, nos puede ayudar a comprender las diferencias en la “camabilidad” entre distintas zonas de nuestra área de estudio.

Tras realizar la validación de campo en la ciudad de Adelaida, con la finalidad de comprobar el rendimiento del índice de “camabilidad”, los resultados muestran algunas contradicciones como, por ejemplo, que calles anchas que están bordeadas por árboles, con acceso a pie a las tiendas y zonas de recreación, tengan un índice bajo. Los autores señalan que se puede deber a que el índice está sesgado por la densidad de la intersección y la mezcla de usos bajos en el barrio de Dulwich.

En este mismo trabajo, me parece significativo que nos indiquen que atributos deberíamos tener en cuenta en el índice de “camabilidad”, para que este nos ayude a explicar mejor porque un individuo se decanta a caminar por una zona y no por otra. Algunos de esos atributos que deberíamos añadir serían: la distribución de servicios como las tiendas locales, oficinas de correos, el transporte público o parques; la presencia de rutas de senderismo /ciclismo; la seguridad del entorno, tanto en lo referente a la densidad de tráfico motorizado como el riesgo de crimen; el acceso a determinadas áreas como son las playas, destinos recreativos que no están atravesados por carreteras, entre otros; y que exista una continuidad en la red de calles o caminos.

Antes de finalizar este apartado, me gustaría mencionar la clasificación que Julio Pozueta (2000) hace sobre los tipos de zonas que puede haber en una ciudad “paseable”. Diferencia 4 tipos: los funcionales, que son zonas que conectan los principales focos de generación/atracción de viajes (Ejemplos: escuelas, comercio, centros de empleo, etc.),

que no obligan a realizar rodeos; las calificados como seguros, que se refieren tanto a lo relacionado con los problemas generados por los vehículos, como la criminalidad; los confortables, que son los que están bien equipados, es decir, aquellas zonas que son amplias, que hay zonas de sombras, entre otros; y los atractivos, que lo son por las características propias del entorno, como las vistas o los monumentos.

Y por último, quiero mostrar la siguiente tabla que se encuentra en uno de los artículos de Owen et al. (2004), donde realiza una revisión y recopilación de algunos de los artículos que han tratado la “caminabilidad”. Lo importante de esta tabla es que nos muestra qué atributos ambientales ha utilizado cada autor/es en sus respectivos trabajos y si fueron significativos para el estudio o no.

Tabla 1: Características y las principales conclusiones de los estudios que examinan las relaciones de los atributos ambientales con un resultado principal de caminar. (Owen et al. 2004)

AUTOR (AÑO)	NÚMERO, EDAD Y GÉNERO	RESULTADOS DE CAMINAR	ATRIBUTOS MEDIOAMBIENTALES	ASOCIACIÓN CON LOS RESULTADOS DE CAMINAR	AJUSTE ESTADÍSTICO
Ball (2001)	3.392 Adultos Hombres 46%	Por ejercicio	Estéticamente agradable Ambientes convenientes	Significante (+) Significante (+)	A, G, E
Berrigan (2002)	14.827 ≥20 años Hombres 48%	≥20 veces por mes	Edad de la casa	Significante para las casas más viejas (+)	A, G, E, Eth, I
Brownson (2000)	1.269 Adultos Hombres 35%	Aumento de caminar desde que se usa el carril	Longitud del carril peatonal Pista de la superficie Distancia al carril	Significativo para usuarios de largo recorrido (+) Significativo para usuarios de carriles asfaltados (+) No significativo	No reportado
Carnegie (2002)	1.200 40-60 años Hombres 43%	Total	Ambiente estético Ambiente práctico	Significante (+) Significante (+)	A, G, E
Craig (2002)	Censo canadiense 1.996	De y desde el trabajo	Puntuación del medioambiente compuesto	Significante (+)	U, E, I, P
De Bourdeaud huij (2003)	521 Media= 44 años Hombres 51,7%	Total de minutos en la última semana	40 ítems de vecindad en 12 categorías 41 ítems de recreación en 3 categorías	Disponibilidad de aceras, significativo para los hombres (+) Mezcla de usos del suelo; la facilidad de ir a pie hasta el transporte público es significativa para las mujeres (+)	A, E, Em Otros no detallados
Ewing (2003)	Total 206.992 18-75 años	Minutos dedicados a caminar en tiempo de ocio en el mes pasado	Índice de expansión metropolitana Índice de expansión del condado	Expansión significativa (-) Expansión significativa (-)	No reportado
Eyler (2003)	1.816 18-65+	Total de semanas diferenciando entre caminante regular, ocasional y que nunca camina.	Sin aceras	Significativo con los que nunca caminan: sin aceras (+); escenario no agradable (+); no hay senderos a pie (+)	A, E, Eth

			Tráfico pesado Colinas No hay alumbrado Perros desatendidos Aire viciado No paisaje agradable No hay senderos a pie Delincuencia alta		
Giles-Corti (2002)	1.803 18-59 años	Para el transporte Para la recreación Conociendo las directrices	1. Acceso a espacios abiertos 2. Acceso a la playa 3. Estética del barrio 4. Tráfico, carreteras más transitadas 5. Aceras presentes 6. Distancia caminando a tiendas	Significante para 1 (+), 2 (-), 4 (+), 5 (+), 6 (+) Significante para 2 (+), 3 (+) Significante para 1 (+), 3 (+)	A, G, E, I, C, W
Giles-Corti (2003)	1.803 18-59 años	Conociendo las directrices	Puntuación compuesta del entorno físico Acceso a espacios abiertos Tráfico menor, algunos árboles Aceras, tiendas	Significante para puntuaciones altas (+) Significante Significante No significativa	A, G, C, E, I
Hovell (1989)	194 Adultos	Por ejercicio	Equipamiento del hogar Entorno del barrio Instalaciones cómodas	No significativa Significante (+) No significativa	A, G
Hovell (1992)	1.701 Media= 48 años Hombres 58%	Cambios en el caminar con los años	Entorno del barrio Instalaciones cómodas	No significativa Significante (+)	A, G
Humpel (2004)	399 Media= 60 años Hombres 43%	1. Vecindad 2. Por ejercicio 3. Por placer 4. Para llegar a	Ubicación costera Estética Accesibilidad de las instalaciones para caminar Seguridad (persona y tráfico)	Significante para mujeres (+) Significante con 1, 2 para hombres (+) Significante con 1 para hombres (-) y 3 para mujeres (+) Significante con 3 para los hombres (-)	A, E, y otras categorías de variables medioambientales

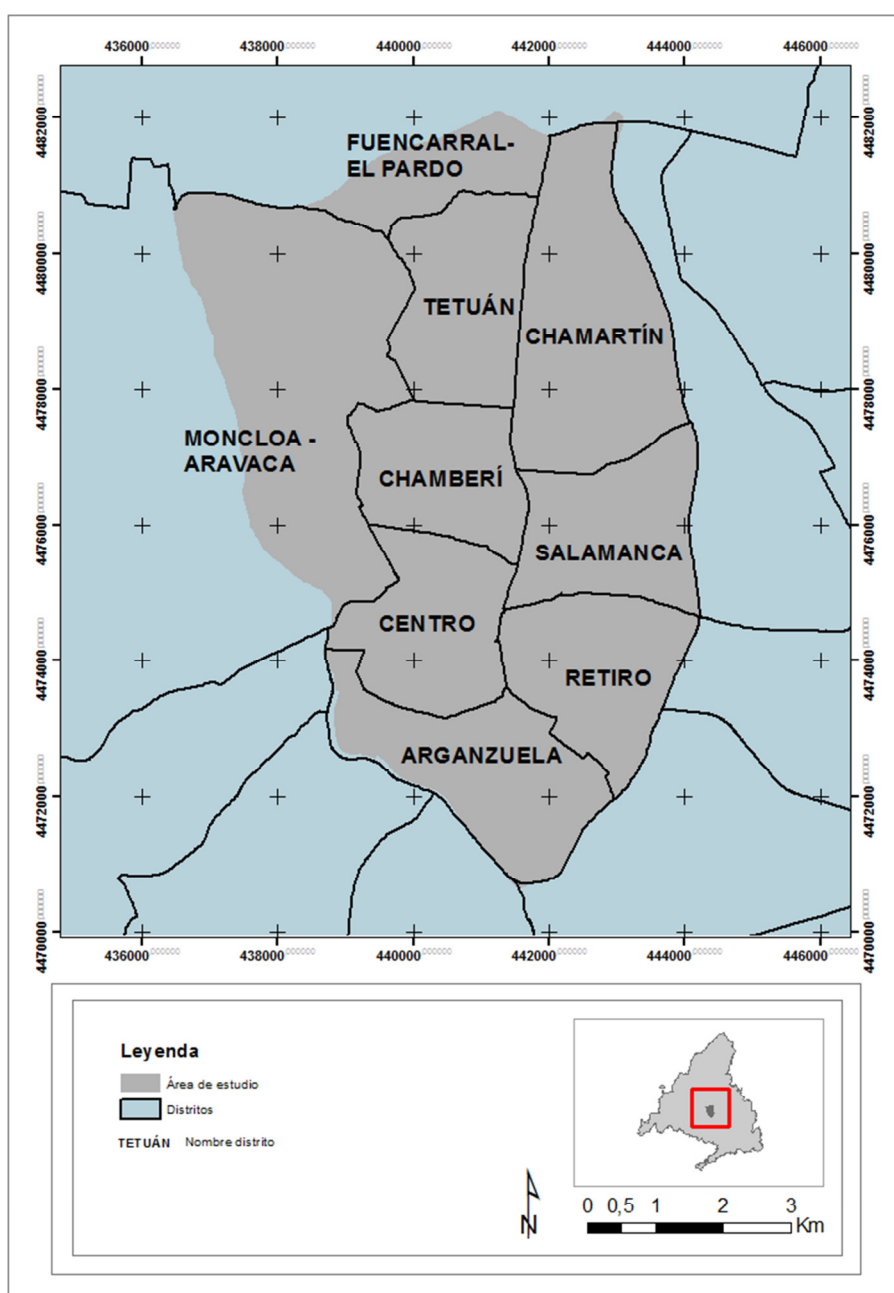
		lugares	Tiempo	Significante con 1, 2 para hombres (+) y 1, 2 para mujeres (+)	
Humpel (2004)	800 18-71 años Hombres 50%	Entorno donde se camina	Ubicación costera Estética Conveniencia Acceso a los servicios Tráfico no es un problema	Significante para hombres (+) Significante para hombres (+) Significante para hombres y mujeres (+) Significante para hombres (+) y mujeres Significante para hombres (-)	A, G, E
Humpel (2004)	512 18-69 años Hombres 49%	<60 minutos incremento en el entorno donde se camina.	Ubicación costera Cambios estéticos Cambios en la conveniencia Cambios en el acceso a los servicios Cambios en el tráfico	Significante para hombres (-) No significativa Significante para hombres y mujeres (+) No significativa Significante para hombres (-)	A, G, E
King (2003)	149 Mujeres Media= 74 años	1. Medidas realizadas don odómetro en 1 semana 2. Auto-reporte de calorías, caminar por semana.	Conveniencia de caminar a 11 destinos Calidad de la zona para caminar	Significante con 1, carril bicicleta o peatonal (+); tienda(s) (+); parque (+); calificación del barrio Significante con 2, calificación del barrio Significante con 1, 2, número total de destinos convenientes que son percibidos (+)	No reportado
Saelens (2003)	110 Media= 48 años Hombres 46,7%	Para diligencias fuera del hogar En las pausas del trabajo/escuela Por ejercicio Total caminado	Zona muy transitable	Significante (+) Significante (+) No significativa No significado	Sin ajustar
Sallis (1997)	110 Media=21 años Hombres 25%	Por ejercicio	Equipos para el hogar Cómodas instalaciones Total del Barrio	No significativa No significativa No significativa	A, G, Eth, SES

(+), asociación positiva; (-), asociación negativa; A, edad; C, número de niños; E, educación; Eth, origen étnico; Em, situación ocupacional; G, género; I, ingresos; P, pobreza; SES, estatus socioeconómico; W, situación laboral.

3. FUENTES Y METODOLOGÍA.

Como ya mencionamos, uno de nuestros principales objetivos es la aplicación del Índice de “Caminabilidad” en la ciudad de Madrid. Concretamente, el área que vamos a utilizar para este caso es la zona que se encuentra dentro de la M-30, la Almendra Central. Pues esta circunvalación, sirve de barrera física en lo referente a la posibilidad de caminar más allá de ella, de realizar un viaje directo, además porque concentra una gran variedad de usos, como por ejemplo: residencial, comercial, recreativo, etc.

Mapa 1. Área de estudio en referencia a la distribución de los distritos de la ciudad de Madrid.



En este caso, el sistema de información geográfica que vamos a utilizar es ArcGis 10. En el desarrollaremos el grueso de nuestro análisis, comenzando primero por la extracción de todas aquellas capas que van a ser necesarias en la creación de cada una de las variables que citaremos más adelante, las cuales utilizaremos para la creación del Índice de “caminabilidad”. De esta forma, podremos determinar qué zonas son las que tienen un alto índice y que, por lo tanto, son más beneficiosas para caminar, y cuales, por el contrario, tienen un bajo índice.

Además, utilizaremos el programa Microsoft Office Excel 2010 para el tratamiento de los datos de las tablas de algunos de los shapes que emplearemos en el estudio.

3.1. Datos de Partida.

Para iniciar nuestro trabajo necesitaremos la siguiente información:

- Mapa 1:5.000 como archivo CAD, proporcionado por el Departamento de geografía Humana de la Universidad Complutense de Madrid: este lo vamos a utilizar en la medición del ancho de las aceras de cada tramo de calle del área de estudio.
- Red Viaria de la Ciudad de Madrid como archivo Shape de líneas, obtenida en la página web “Nomecalles” (<http://www.madrid.org/nomecalles>), del Instituto de Estadística de Madrid: esta capa va a ser la base de nuestro trabajo, ya que la asociaremos con las variables necesarias para realizar el Índice.
- Portales de la ciudad como archivo Shape de puntos, perteneciente al proyecto de Cartociudad y facilitado por el Departamento de Geografía Humana de la UCM: nos muestra la situación de los portales de los edificios con respecto a los ejes viales y será utilizado para determinar el ancho de las aceras, junto con la información extraída del mapa 1:5.000.
- Usos del suelo como archivo Shape de polígonos, facilitada por el Departamento de Geografía Humana de la UCM: esta capa la utilizaremos con la finalidad de determinar si existe o no variedad de usos en nuestra área de estudio.
- Unidades Productivas referidas al año 2009 en formato Shape de puntos, proporcionado por el Departamento de Geografía Humana de la UCM: esta capa nos va a ser útil para determinar la cantidad de establecimientos que hay en cada una de las calles, convirtiéndolo en una de las variables que pueden llegar a influir en el Índice.
- Archivo .dbf de las incidencias recogidas por la Policía Municipal para el año 2006, proporcionadas por el Departamento de Geografía Humana de la UCM: esta tabla la utilizaremos para establecer en que calles hay un alto número de delitos y como variable en el Índice.

- Los árboles que hay en la Almendra central de Madrid, en archivo Shape de puntos. Esta información fue extraída de la siguiente página web: <http://unalcorqueunarbol.cloudap.net/>, que es gestionada por la Dirección general de Patrimonio y que podemos ver en la Unidad de arbolado urbano del Ayuntamiento de Madrid. Esta capa será útil para realizar el indicador de arbolado y utilizarlo como variable en el Índice de “caminiabilidad”.
- Pendientes de cada una de las calles de nuestra área de estudio, en formato shape de líneas, facilitado por el Departamento de Geografía Humana de la UCM: diferenciaremos entre 3 tipos de pendientes, según la facilidad o dificultad de caminar, y la utilizaremos como variable para el Índice.
- Ortofotos PNOA, extraídas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), concretamente del Centro de Descargas: las utilizaremos para visualizar aquellas calles que tienen una densidad alta, media o baja de árboles.

3.2. Variables.

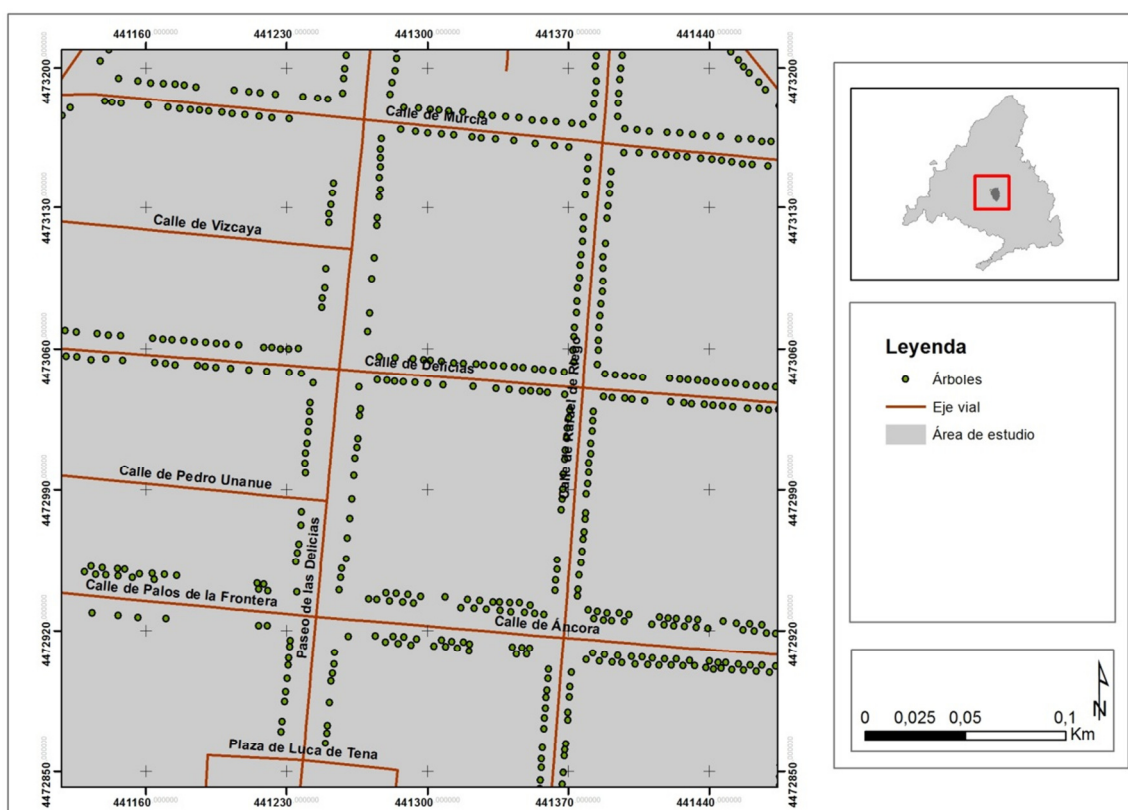
En primer lugar, vamos a extraer la información necesaria para la creación de las variables, que serán empleadas en el Índice de “Caminabilidad”, que explicaremos en el siguiente apartado. En segundo lugar, realizaremos las operaciones necesarias para elaborar cada una de las variables. La información de cada una de ellas la guardaremos en el shape de Ejes Viales, por lo que en la tabla de atributos, además de la información de la propia capa, tendremos unos campos que hacen referencia a esas variables: el indicador de arbolado, el tamaño de las aceras, las pendientes de cada uno de los arcos, el número de delitos cometidos, los establecimientos que hay, etc.

Como hemos visto en la tabla del apartado del Marco teórico-metodológico, los distintos autores han tenido en cuenta aspectos del entorno urbano de distinta índole, tales como la existencia de tiendas, si no hay alumbrado, la estética, la edad de la casa, etc. En ocasiones, existen coincidencias porque se trata de atributos que son fundamentales para la detección de calles caminables. En nuestro caso, vamos a introducir como novedad el tamaño de las aceras, es decir, la distancia que hay entre los portales de las viviendas y el límite con el eje vial. Esta variable la introduciremos en el Índice de “caminiabilidad”, ya que se trata de uno de los aspectos determinantes en la elección de los viandantes. Pues, si una acera es ancha será más adecuada para caminar, porque el viandante tendrá más espacio para realizar esta actividad, a diferencia de una acera estrecha, que provoca molestias entre los transeúntes.

3.2.1. Indicador de arbolado.

Para obtener esta primera variable, necesitamos tener una capa que nos muestre cada uno de los árboles que hay en cada calle de la Almendra Central de Madrid, con la finalidad de obtener un Indicador de arbolado. Una vez que la hemos conseguido, tenemos que ajustarla al área de estudio.

Mapa 2. Situación de los árboles con respecto a la capa Eje Vial. Detalle del entorno del Paseo de las Delicias.



Posteriormente, en la capa de Ejes viales vamos a crear un campo nuevo en la Tabla de Atributos, denominado “Longitud”, donde la calcularemos para cada uno de los arcos que forman dicha red.

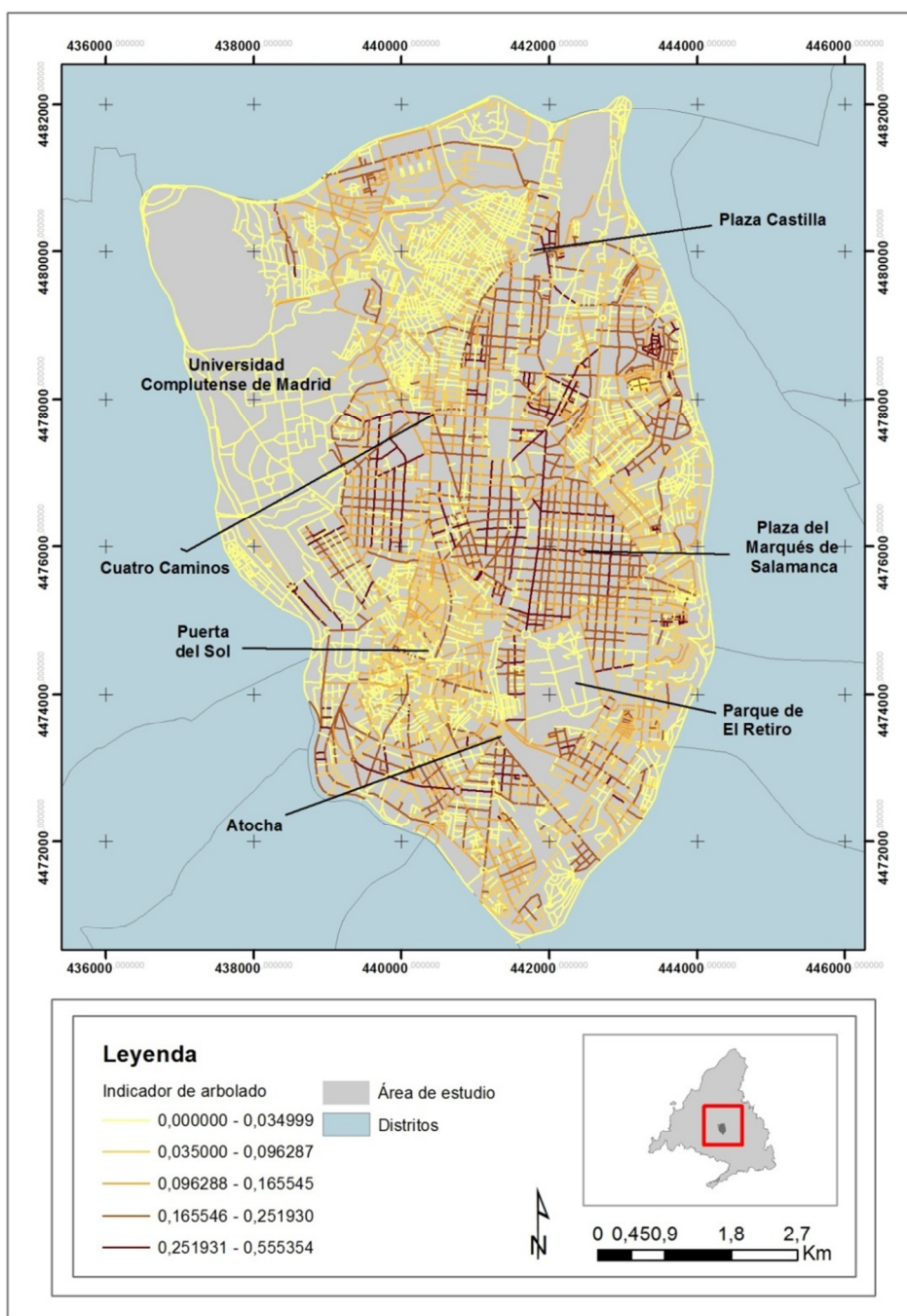
El siguiente paso es establecer cuantos árboles hay por arco, para ello, vamos a realizar un *Join Spatial* con las dos capas. De esta forma, en la capa de Ejes Viales se creará un campo nuevo en la Tabla de Atributos, que nos mostrará dicha información.

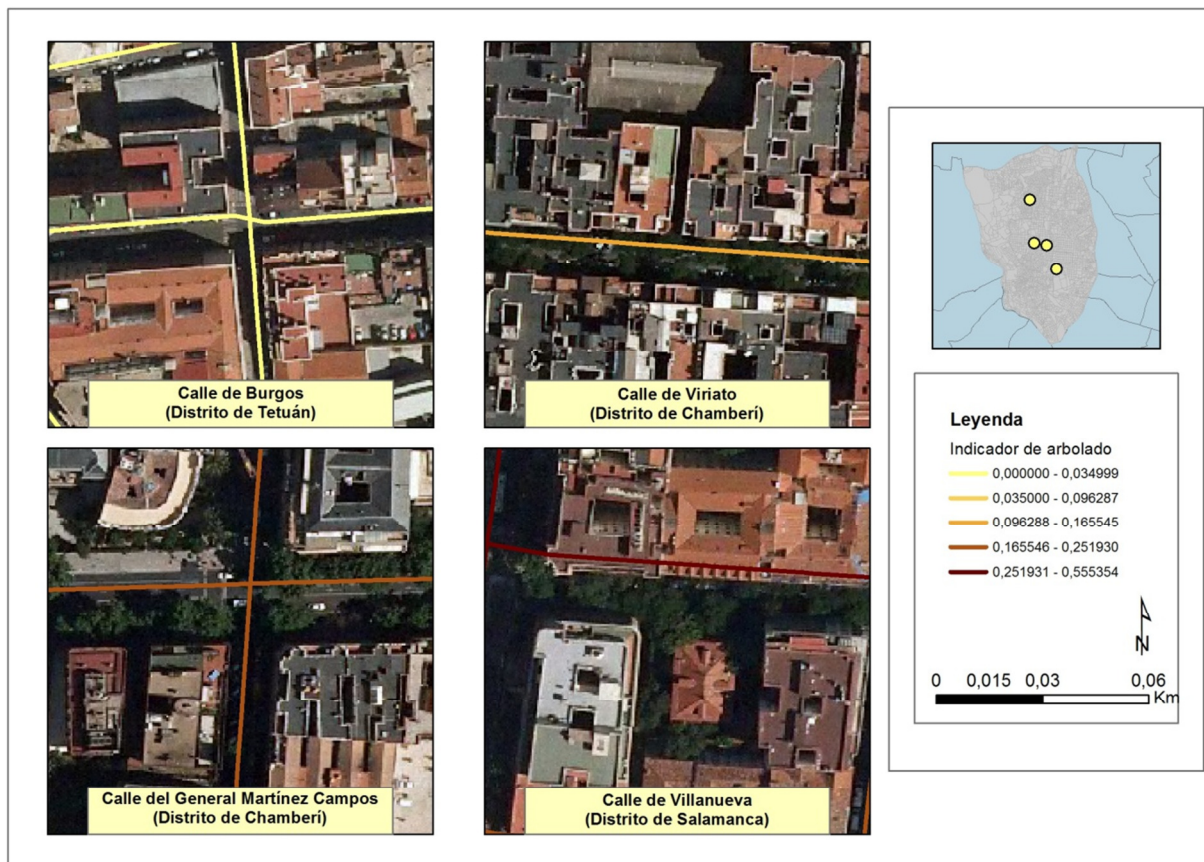
Una vez que sabemos la longitud de cada uno de los arcos que forman la capa de Ejes Viales y el número de árboles por arco, ya tenemos los dos datos necesarios para realizar el Indicador de Arbolado.

$$\text{Indicador de arbolado (valor relativo)} = \frac{\text{Número de árboles}}{\text{Longitud del arco}}$$

Este indicador nos permite observar qué calles son las que presentan una baja, media o alta densidad de árboles, como podemos ver en las siguientes imágenes, que son una combinación de ortofotos de nuestra área de estudio con el shape de ejes viales, que contienen dicha información. Por lo general, aquellas calles que tienen un alta o media densidad de árboles, suelen ser más atractivas para el caminante, es decir, que son más agradables para caminar por la sombra que generan y porque hacen más hermosas las calles.

Mapa 3. Indicador de arbolado para cada una de las calles de la Almendra Central.



Mapa 4: Ejemplos de bajo, bajo-medio, medio y alto Indicador de Arbolado.

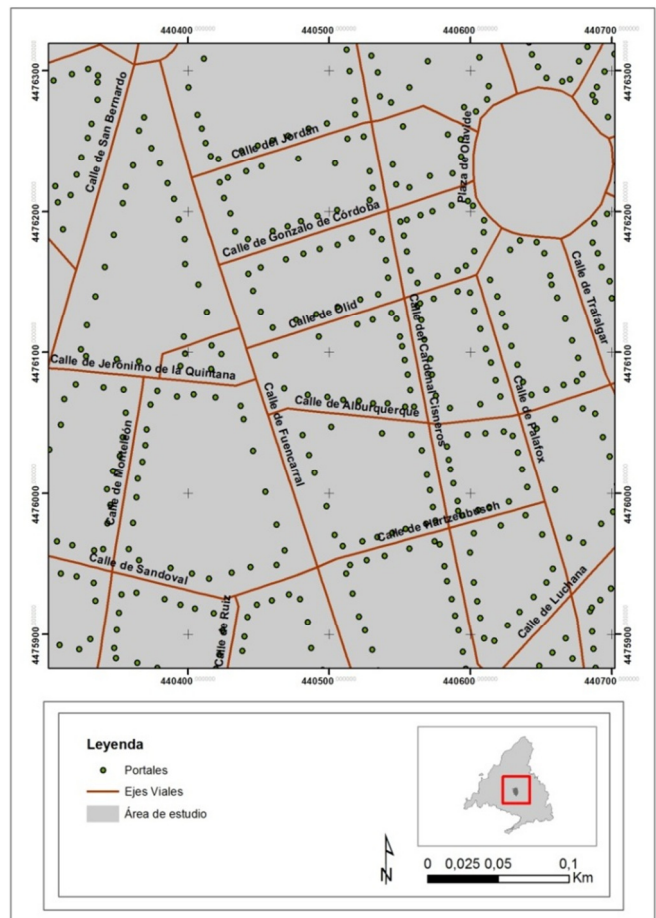
Con respecto a la creación de esta variable, se puede presentar el siguiente problema: no contar con una capa que nos represente cada uno de los árboles. Una solución a ello, si cuentas con el Mapa 1:5.000 de la zona de estudio, es realizar una selección por atributos y seleccionar aquellas líneas que tengan como valor del atributo “Color” igual a 31. Y ya podemos extraer las líneas que representan la superficie arbolada. Posteriormente, extraeremos los vértices de esas líneas con la herramienta *Feature vertices to points* (Data Management → Features) y simularemos que estos son los árboles.

En el caso de que alguno de esos vértices se encuentre alejado de la zona donde supuestamente deberían estar, tendríamos que determinar una distancia máxima y eliminar todos aquellos vértices que superen esa distancia. Una vez hecho esto, podemos hacer todo el proceso explicado al principio del apartado y conseguir dicho indicador.

3.2.2. Aceras.

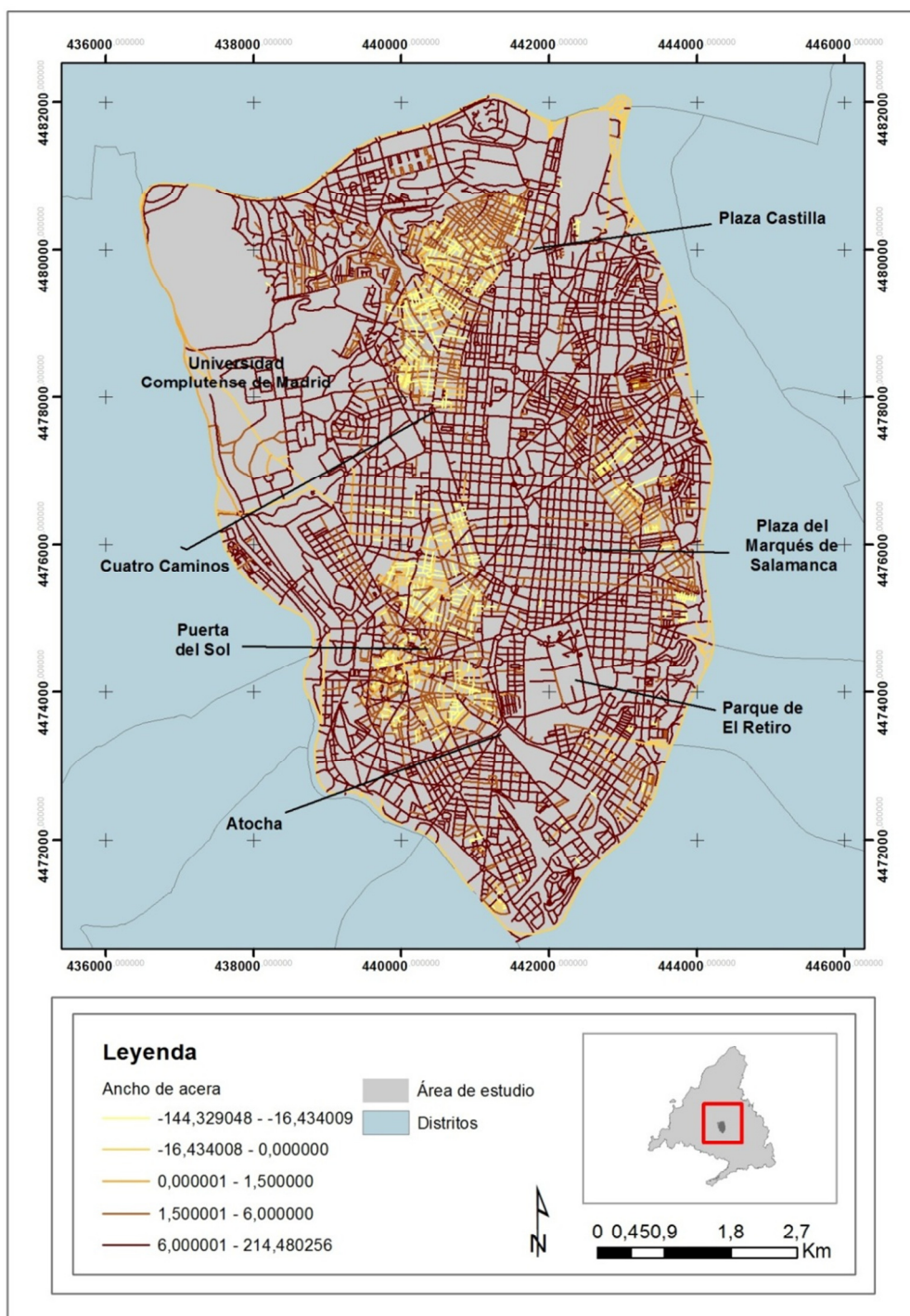
En este caso lo que necesitamos es saber el tamaño de las aceras, es decir, la distancia que hay entre los edificios y el contacto de cada acera con las vías de comunicación. Como no contamos con una capa que nos muestre esta información, lo que vamos a hacer en primer lugar, es extraer del Mapa 1:5.000 las líneas que nos muestran esa zona de contacto, que son las que tienen como valor del atributo “Color” igual a 8. Entonces, con esta nueva capa creada, que denominaremos Aceras y la capa de Portales, utilizaremos la herramienta *Near* (Analyst Tools → Proximity): primero para determinar la distancia entre los ejes viales y los portales y, segundo, para saber la distancia entre los ejes viales y las aceras. En este último caso, antes de utilizar dicha herramienta, hemos extraído los vértices de la capa de líneas Aceras, con la herramienta *Feature vertices to points*, ya que *Near* presentaba algunos problemas al introducir este como shape de tipo lineal. Una vez que sabemos ambas distancias y que esta información está guardada en la tabla de atributos de la capa Ejes Viales, vamos a restar esas dos distancias para obtener la distancia aproximada de las aceras de cada tramo de calle.

Mapa 5 y 6: Detalle del entorno de un tramo de la Calle de Alcalá, próximo al parque de El Retiro: situación de las aceras con respecto a los ejes viales (mapa de la izquierda); y detalle de la zona de Fuencarral: situación de los portales con respecto a los ejes viales (mapa de la derecha).



Con respecto al tamaño de las aceras, lo ideal es que superen el mínimo establecido de 1,50 metros de ancho, un poco escaso para el tránsito tranquilo de los viandantes. (Boletín Oficial del Estado, 2010). Y como podemos ver en el siguiente mapa, la inmensa mayoría de las aceras, superan los 6 metros de ancho, siendo más que adecuadas para el tránsito de las personas.

Mapa 7: Resultado final de hallar el ancho de las aceras para cada una de las calles de la Almendra Central.



3.2.3. Pendiente.

Como ya mencionamos en el anterior apartado, ya contamos con un shape que tiene, en su tabla de atributos, un campo con la pendiente correspondiente a cada arco de la red vial. Esta se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

$$p[\%] = \frac{\Delta y[m]}{x[m]} * 100$$

Dónde: x , es la distancia entre los nodos de los arcos, medida en metros sobre el plano.

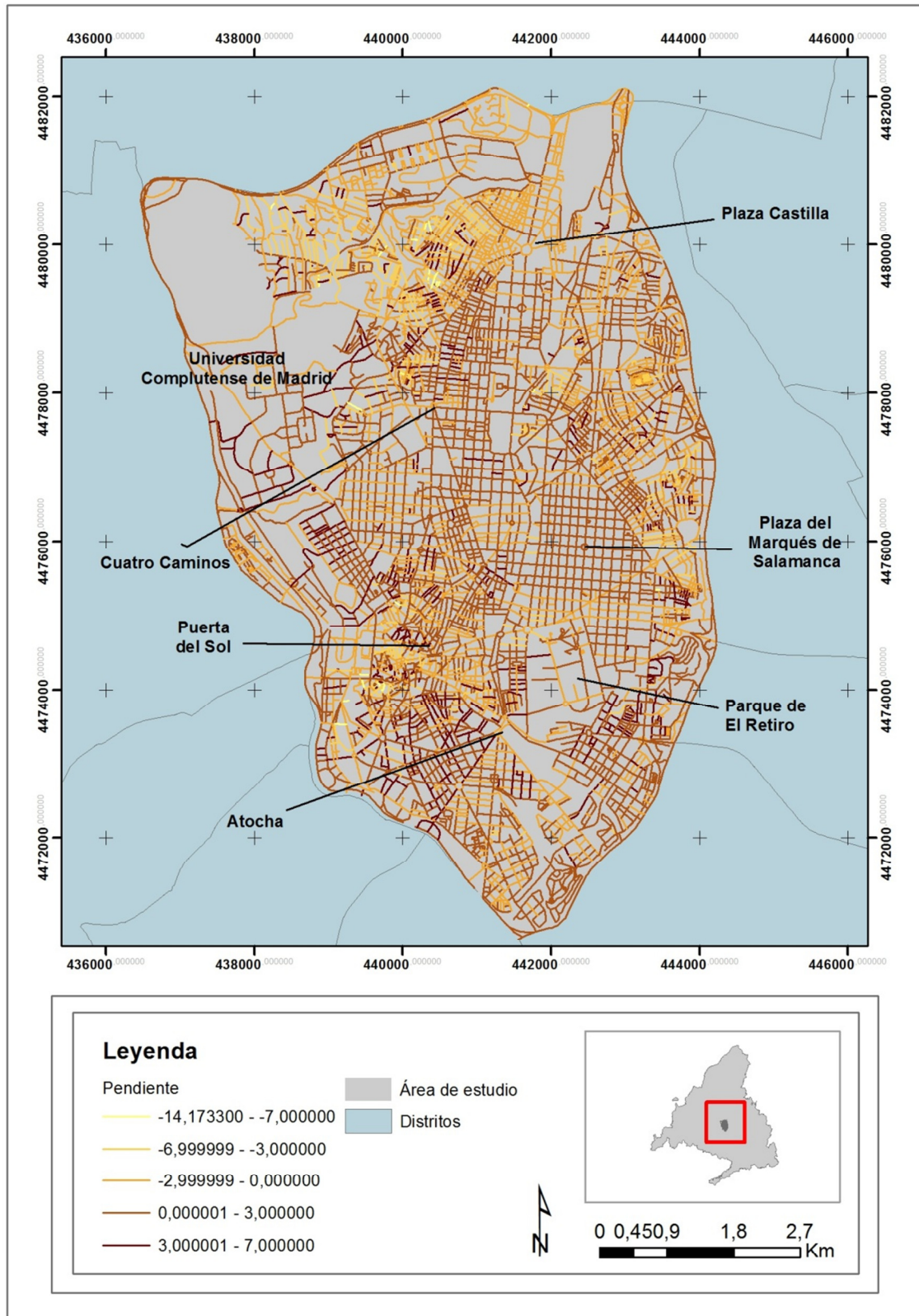
Δy , es la diferencia de cotas de los nodos medida en metros.

Como no contamos con un campo común entre esa capa y la capa de Ejes Viales, lo que vamos a hacer es realizar un *Intersect* (Analysis Tools → Overlay) entre esas dos capas. Con la capa resultante, realizaremos un *Join* entre esta tabla y la tabla de Ejes Viales, y en esta última creamos un campo nuevo denominado “Pendiente” donde, con la calculadora, copiaremos el contenido del campo denominado “Slope”.

En este campo tenemos valores de distinto signo:

- Signo negativo: se trata de aquellos arcos que tienen una pendiente descendente.
- Signo positivo: se corresponde con los arcos que poseen una pendiente ascendente.

Entonces, vamos a diferenciar entre pendientes llanas, que son aquellas que tienen unos valores comprendidos entre -3% y +3%, más adecuadas para caminar y que no constituye esfuerzo alguno para el viandante; pendientes ascendentes, las superiores al 3%, que ya suponen un problema en la práctica de esta actividad; y las pendientes descendentes, inferiores a -3%, donde la dificultad para caminar se reduce notablemente, con respecto a las anteriores.

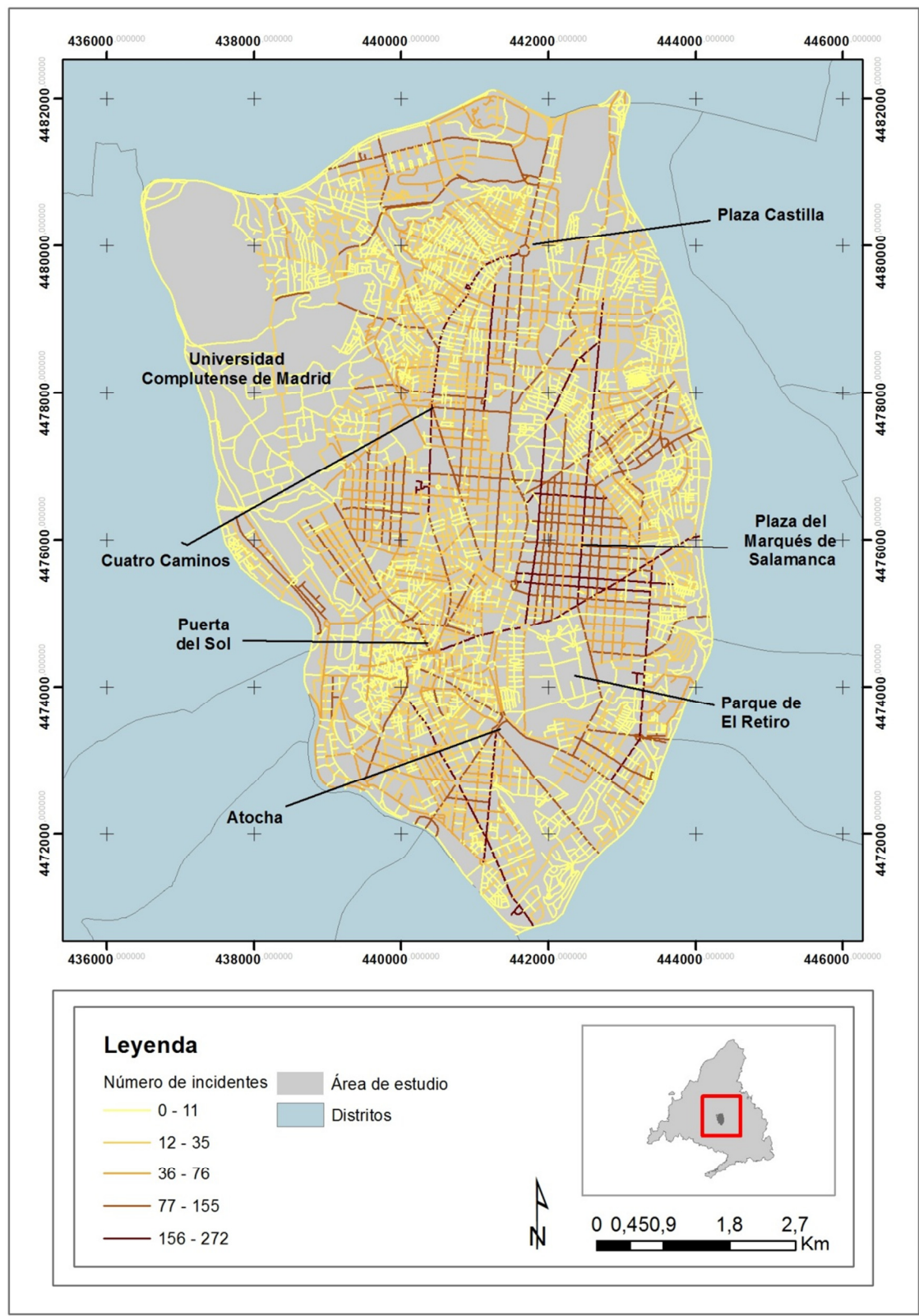
Mapa 8: Pendientes correspondientes a cada una de las calles de nuestra área de estudio.

3.2.4. Seguridad.

En este caso contamos con un shape que nos muestra datos procedentes del Atlas de Seguridad de Madrid.

Esta capa la vamos a utilizar para determinar la seguridad que hay en cada una de las calles, es decir, que si sabemos el número de incidentes que se produjeron, sabremos lo segura o no segura que es ese tramo de calle. Pero no vamos a diferenciar entre tipos de incidentes, porque hay una gran variedad, desde los relacionados con la seguridad vial a los que tienen que ver con el riesgo de crimen.

Mapa 10: Resultados de determinar cuántos incidentes se han producido en cada una de las calles.



3.2.5. Comercio.

Para obtener esta variable, vamos a necesitar saber la cantidad de establecimientos que hay en cada calle. Para ello vamos a utilizar el shape que representa las Unidades productivas correspondientes al año 2009. Esta capa contiene una tabla de atributos donde, entre otros muchos aspectos, se nos muestran las ramas de actividad del CNAE 93, que vemos en la siguiente tabla.

Tabla 2: Ramas de actividad del CNAE 93.

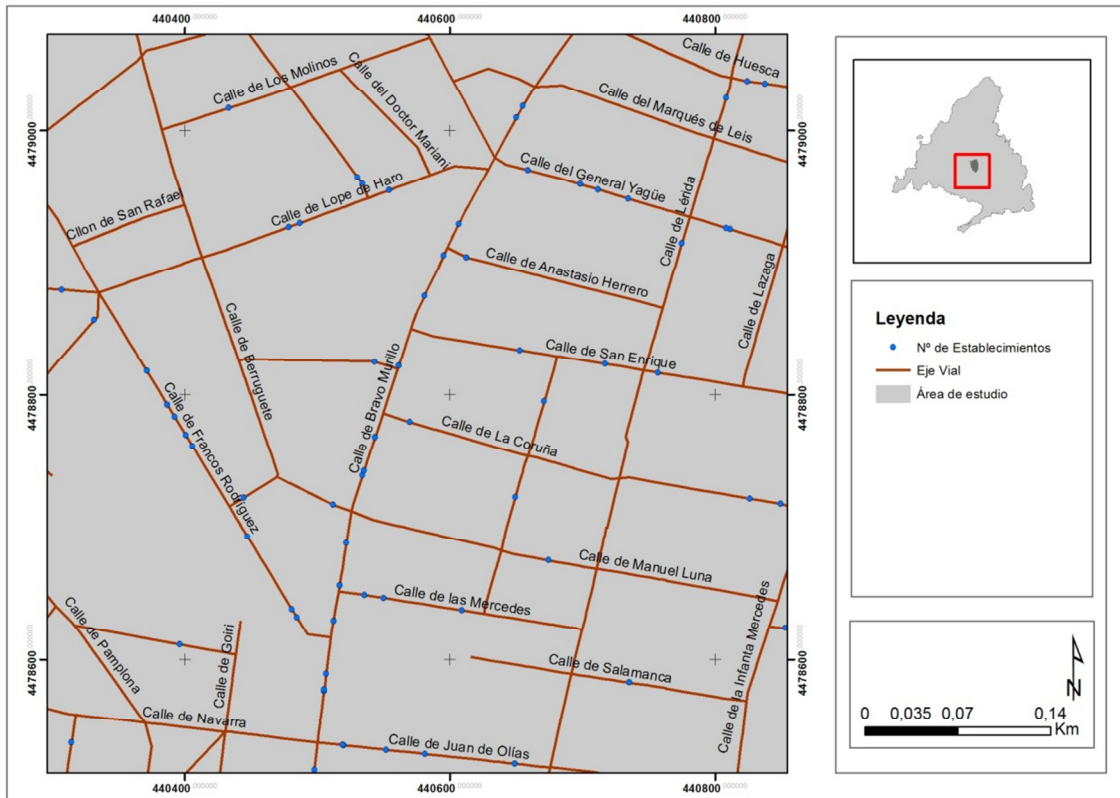
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
01	Agricultura y ganadería
02	Energía y minería
03	Metálicas básicas
04	Productos metálicos
05	Maquinaria industrial
06	Material eléctrico y electrónico
07	Material de transporte
08	Alimentación
09	Textil, confección y calzado
10	Papel y gráficas
11	Industria química
12	Industria no metálica
13	Otras manufactureras
14	Construcción
15	Comercio mayorista
16	Comercio menor y reparación
17	Hostelería
18	Transporte y comunicaciones
19	Inmobiliarias y alquiler
20	Servicios a empresas y sedes
21	Educación
22	Sanidad
23	Servicios recreativos
24	Servicios personales
25	Servicios financieros
26	Otros servicios
27	Administraciones públicas

En esta tabla, se observa como a cada rama le corresponde un determinado código, que es el que aparece en la tabla de atributos. Lo que vamos a hacer es utilizarlo para realizar una selección de aquellas ramas de actividad que pensamos que pueden tener una influencia destacada en el Índice que elaboraremos más adelante.

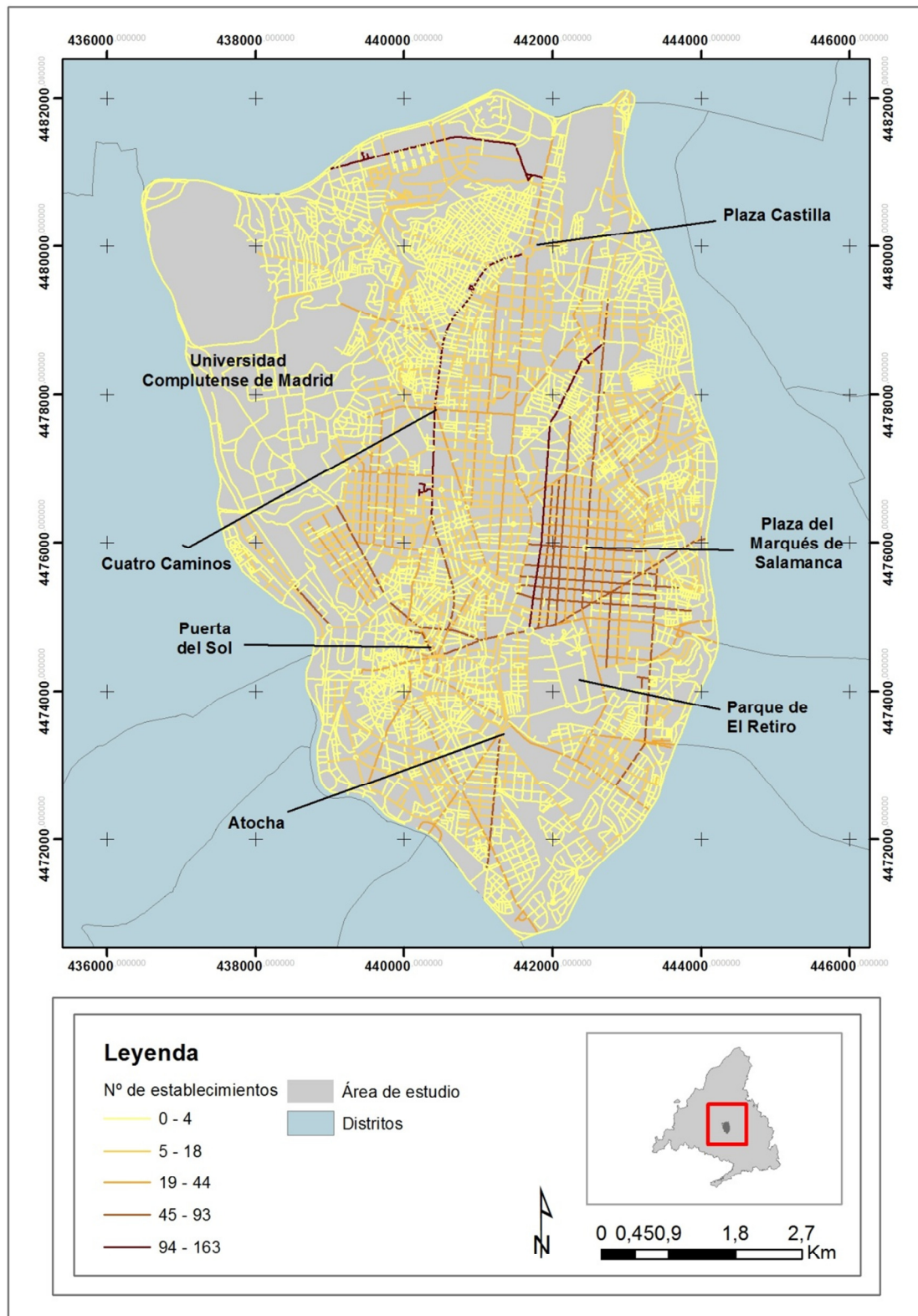
Las ramas que vamos a seleccionar para este caso, son: alimentación (08); textil, confección y calzado (09); comercio menor y reparación (16); servicios recreativos (23); y servicios personales (24), por tratarse de actividades que ejercen un determinado

poder de atracción sobre la población. Por ejemplo, y como veremos, no es lo mismo caminar por una calle que apenas tiene comercios de restauración o tiendas de otro tipo, que caminar por una que tenga una gran número de establecimientos. Esta última va ser la que tenga una concentración mayor de viandantes, por ser una calle más amena.

Mapa 11: Situación de los comercios con respecto a los ejes viales. Detalle del entorno de Bravo Murillo.



Tras realizar la selección por ramas de actividad, vamos utilizar la capa de Ejes Viales para hacer un *Join Spatial* con estas dos capas. Igual que en casos anteriores, seleccionaremos la primera opción y dentro de esta, que nos haga el recuento de los establecimientos más cercanos. De esta forma, sabremos el número de establecimientos que hay en cada una de las calles de nuestra área de estudio.

Mapa 12: Número de establecimientos en cada una de las calles.

3.2.6. Variedad en los usos del suelo.

Uno de los atributos más utilizados por los distintos autores que han hablado sobre la “Caminabilidad”, son las características de los usos del suelo. En nuestro caso, nos vamos a centrar en determinar si existe variedad en los distintos usos que hay en nuestra área de estudio. Para ello, utilizaremos la siguiente fórmula de entropía, con la finalidad de ver si hay homogeneidad o heterogeneidad en los atributos de los usos del suelo (Leslie et al. 2007).

$$-\frac{\sum_k (p_k \ln p_k)}{\ln N}.$$

Dónde: k , como la categoría del uso del suelo.

p , como la proporción de la superficie dedicada a un uso específico del suelo.

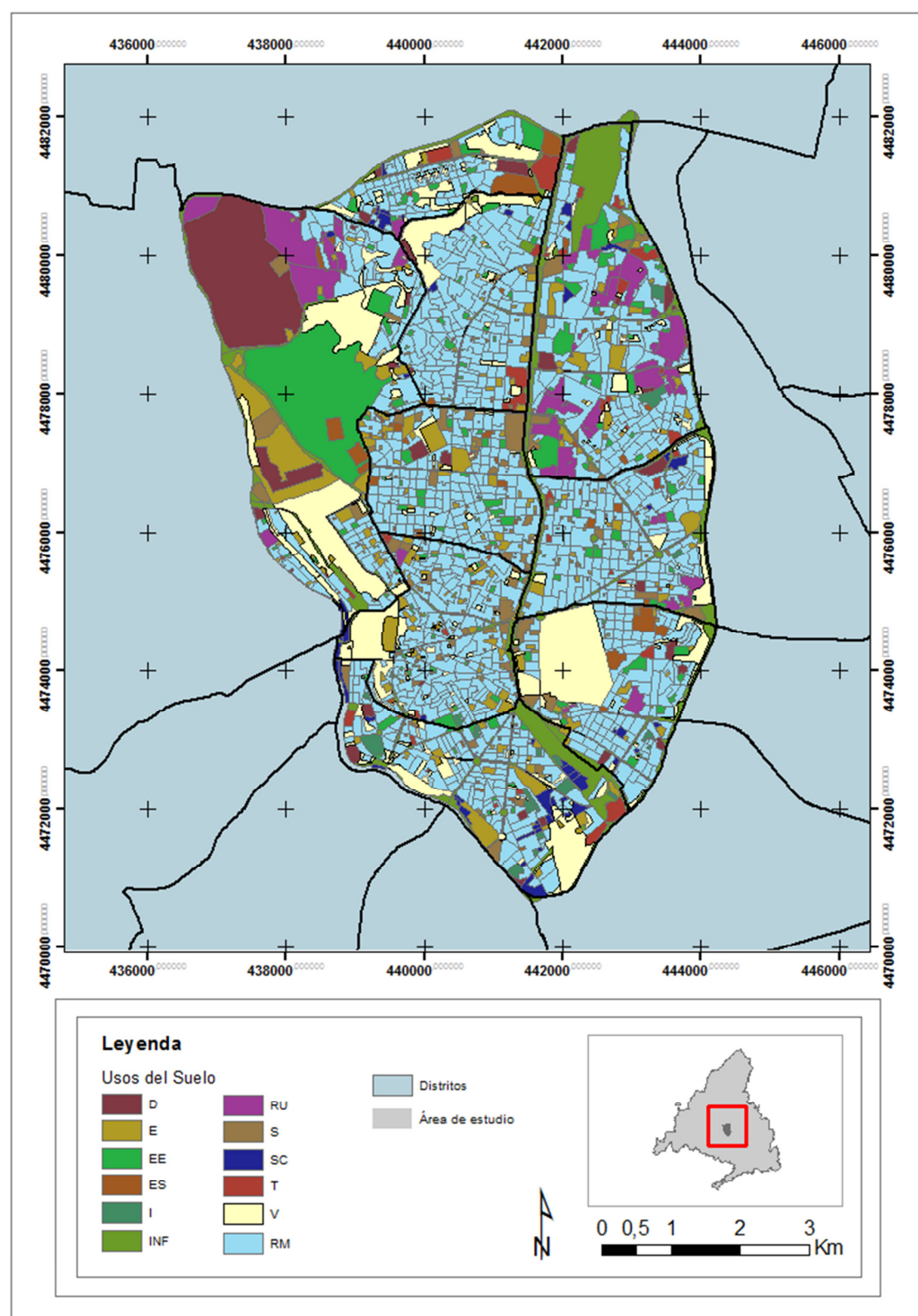
N , como el número de las categorías del uso del suelo.

Los datos resultantes estarán comprendidos entre una puntuación de 0 y 1, siendo 0 un ambiente homogéneo, es decir, que los usos del suelo son del mismo tipo, que no hay variedad, y 1 que existen usos diferentes en una determinada zona.

Para aplicar esta ecuación, primero tendremos que extraer los usos del suelo de nuestra área de estudio. Posteriormente, lo que haremos es dividir nuestra zona por distritos, porque este tipo de fórmula hay que aplicarla a un área en concreto. Entonces, como nuestra área de estudio tiene un tamaño considerable y, aplicar la fórmula en ella, sería otorgar valores erróneos a cada uno de los ejes viales, hemos decidido utilizar el tamaño de los distritos que conforman esta zona, por tratarse de una zona intermedia, ni demasiado grande ni demasiado pequeña.

Con respecto a los distritos, hay que decir, que nuestra zona está formada por 9, de los cuales, Fuencarral-El Pardo y Moncloa-Aravaca no están representados en su totalidad, es decir, que aparece una parte de ellos. Pero de todas formas, vamos a mantener esta división.

Mapa 13: Usos del suelo por Distritos.



Tras esta aclaración, el siguiente paso es realizar dicha fórmula, la cual haremos por partes en ArcGis y en Excel:

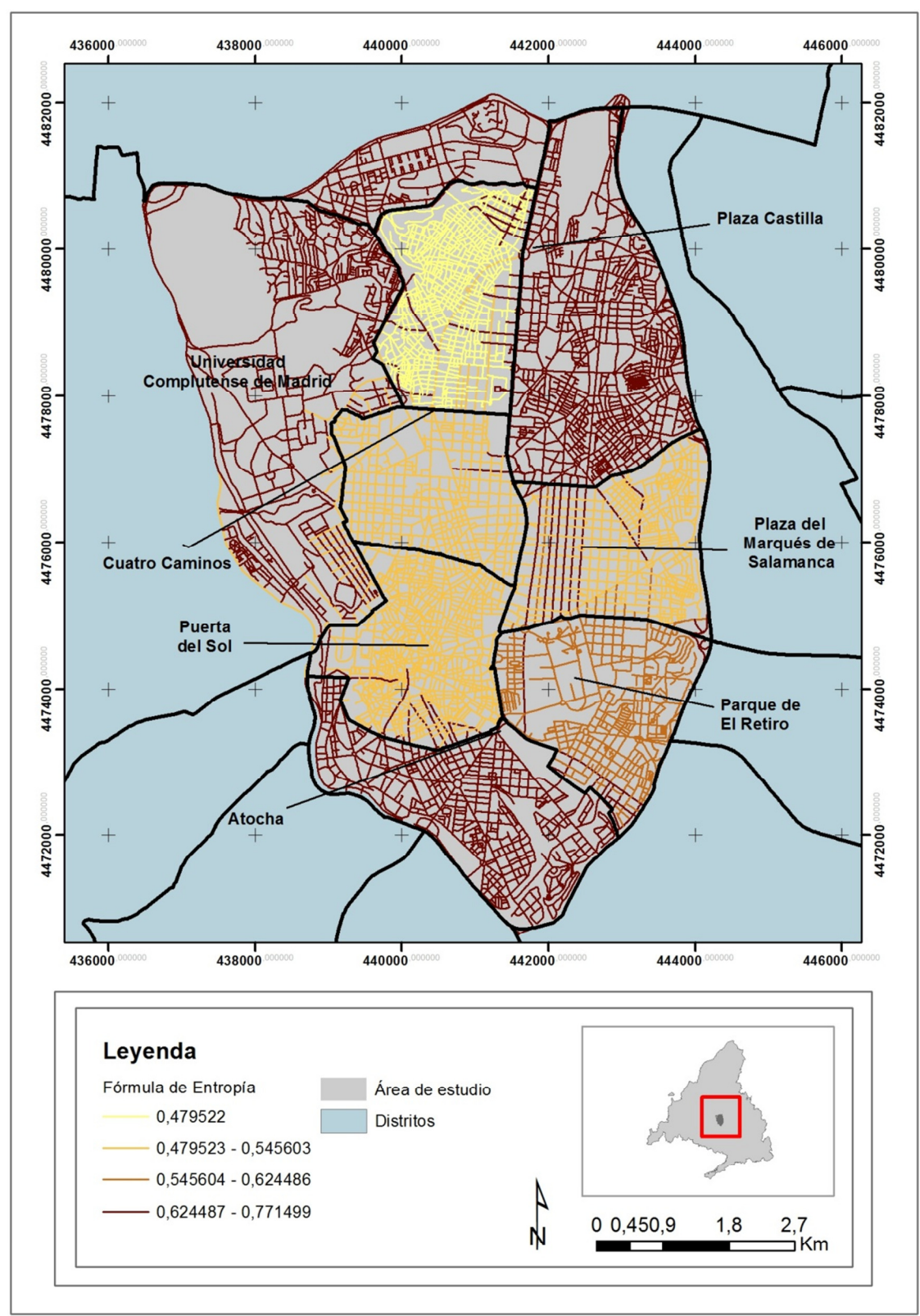
- Para hallar p , en primer lugar tendremos que saber cuál es el área que ocupa cada uso en un distrito concreto. Por lo que, en la capa de los usos de cada distrito, crearemos un nuevo campo en la tabla de atributos y con el *Cálculo de Geometría*, hallaremos el área. Posteriormente, realizaremos un *Summarize* sobre el campo “Use 09” y seleccionaremos que nos sume los valores del campo de “Área”. De esta forma, obtendremos una tabla que nos muestra los usos que hay dentro del distrito y el área total de cada uno de ellos. El siguiente paso es saber el área total de los usos de ese distrito. Una vez que tenemos los dos valores, dividiremos el área de cada uso por el total.
- Tras saber p , lo siguiente es hallar el Logaritmo Neperiano de p ($\ln p$) y multiplicar su resultado por p . Para luego, sumar todos los resultados de cada uso.
- En el divisor, tendremos que hallar el Logaritmo Neperiano de 12, ya que son 12 los usos que hay en nuestra área de estudio, aunque nos encontremos que en determinados distritos tenemos 10 u 11.
- Por último, solo tenemos que dividir ambos valores, es decir, la suma de los resultados de cada uso entre el logaritmo neperiano de 12. Esta división tendrá signo negativo.

De esta forma, sabremos el cociente de entropía para cada uno de los distritos. Posteriormente, lo que haremos será dividir la capa de Ejes Viales por Distritos, así podremos crear un campo nuevo en la tabla de atributos donde introduciremos los cocientes correspondientes. Después, utilizaremos la herramienta *Merge* (Data Management tools → General), para unirlos de nuevo.

Tabla 3: Resultado por distritos de la fórmula de entropía para los usos del suelo.

DISTRITO	COCIENTE
Arganzuela	0.71
Centro	0.55
Chamartín	0.71
Chamberí	0.51
Fuencarral – El Pardo	0.75
Moncloa - Aravaca	0.77
Retiro	0.62
Salamanca	0.53
Tetuán	0.48
Media almendra central	0.63

Mapa 14: Resultados de realizar la fórmula de entropía.



3.2.7. Conectividad / Sinuosidad.

Esta variable nos va a ser útil para observar la conectividad existente entre distintos tramos de calles, si existe sinuosidad en el trayecto que puede llegar a realizar el viandante. Lo ideal es aquel trayecto en el que se puede ver o intuir su final, que sea recto o tienda a serlo, donde haya varias opciones para las rutas de viaje y no existan barreras, como es el caso de la M-30, mencionado anteriormente (Saelens et al. 2003).

La conectividad la calcularemos realizando una *Turntable* con el shape de Ejes Viales. Para este caso, se realizará con una versión anterior de Arcgis, ya que la nueva no cuenta con esta posibilidad. En esta tabla resultante se nos muestran todos los recorridos que las transiciones representan desde un enlace a otro, es decir, del nodo X_1 al nodo X_2 , del nodo X_1 al X_3 , y así como enlaces tenga el nodo X_1 con otros nodos.

En esta tabla resultante, lo que nos interesa es el campo denominado Ángulo, porque representa el giro que tiene que realizar el viandante para ir hacia su destino. Por lo tanto, si tenemos un ángulo igual a 0° , significa que el trayecto que se realiza es recto; mientras que, si ese ángulo difiere de 0° , el trayecto tendrá tendencia a la sinuosidad, el viandante tendrá que realizar giros para llegar a su destino. Pero, como no tenemos un campo común entre esta tabla y el eje de calles, no vamos a utilizar esta variable.

Esto, lo mencionamos, porque puede ser útil para un análisis de redes, donde se investigue un determinado trayecto o se quiera hacer una media de los ángulos que un viandante suele realizar, es decir, analizar el Índice de “Caminabilidad” desde otra perspectiva y método. Para ello tendríamos que crear un campo en la red de ejes donde se nos muestre la información sobre ángulos que creamos oportuna. Lo idóneo sería poner todos los ángulos posibles de cada uno de los ejes, de tal forma, que se podría realizar un estudio más completo, según el objetivo de este.

3.3. Creación del Índice de “Caminabilidad”.

El Índice de “Caminabilidad”, como hemos mencionado a lo largo de este trabajo, se basa en la combinación de distintas variables que consideramos importantes e influyentes en la toma de decisión, por parte del viandante, que selecciona un trayecto u otro para realizar la acción de caminar, ya sea por motivos de trabajo, ocio u otros.

En este caso, crearemos el Índice con dos métodos diferentes, de forma que podremos comparar sus resultados. Estos métodos son: la realización de una media aritmética de las variables utilizadas y la media ponderada. Como veremos, en la primera, todas las variables tienen la misma importancia, mientras que en la segunda, cada una de las variables tiene un peso diferente en función de una serie de razones.

3.3.1. Normalización de las variables.

Antes de realizar ambos métodos, tenemos que normalizar las variables para que se puedan utilizar. Entonces, tras elaborar cada una de ellas, el siguiente paso será este, normalizarlas, con la finalidad de que los valores se sitúen en una escala de 0 a 100. Para ello vamos a realizar la siguiente Transformación Lineal:

$$fi = \frac{(Vi - Vmin)}{Vmax - Vmin} * C$$

Dónde: f , como valor del factor normalizado.

Vi , como valor origen del factor.

$Vmax$, como el valor máximo.

$Vmin$, como valor mínimo.

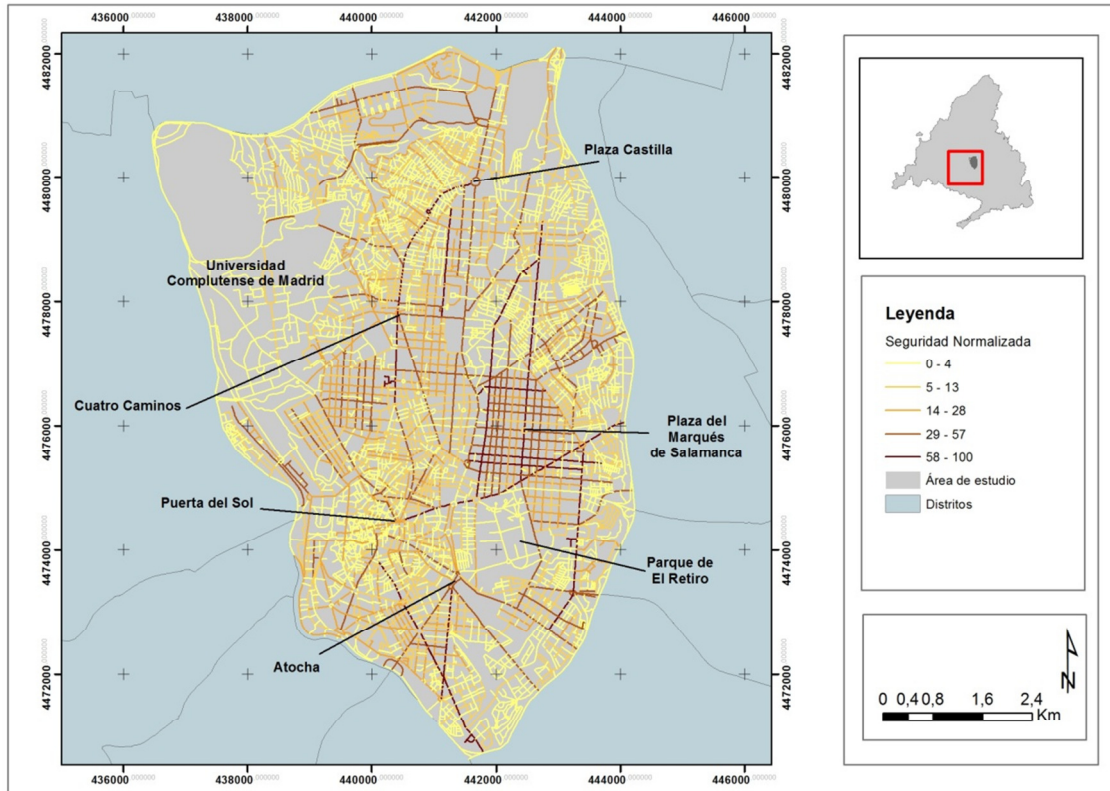
C , como rango de estandarización.

Para poder aplicarla, necesitamos crear en la tabla de atributos de la capa de Ejes Viales, tantos campos nuevos como variables tengamos. Entonces, en cada uno de esos campos nuevos, introduciremos dicha ecuación en la *Calculadora*, obteniendo los valores de origen normalizados. Estos valores van a tener un valor mínimo de 0 y un valor máximo de 100, y a nosotros nos van a interesar los que tengan unos valores altos. Por ejemplo: para el campo Seguridad, tendríamos la siguiente ecuación:

$$fi = \frac{[seguridad] - 0}{272 - 0} * 100$$

El resultado que tendríamos sería el siguiente: los valores cercanos a 0 se corresponden con aquellos arcos que tienen un número elevado de incidencias; mientras que los valores cercanos a 100, se trata de aquellos arcos que tienen un número de incidencias menor, es decir, que el grado de seguridad es mayor.

Mapa 15: Resultado de normalizar los datos del campo “Seguridad”.



Después, tenemos el caso de la variable de pendientes, donde las que son óptimas para caminar están comprendidas entre -3% y +3%, que si realizamos dicha normalización los valores que nos interesan serían los intermedios, los que se corresponden con valores normalizados situados entre 44 y 64. Entonces, lo que haremos es realizar una reclasificación de los datos, asignando unos determinados valores entre 0 y 100 a los valores sin normalizar, pero los asignaremos a determinados tramos. Estos y sus valores normalizados son:

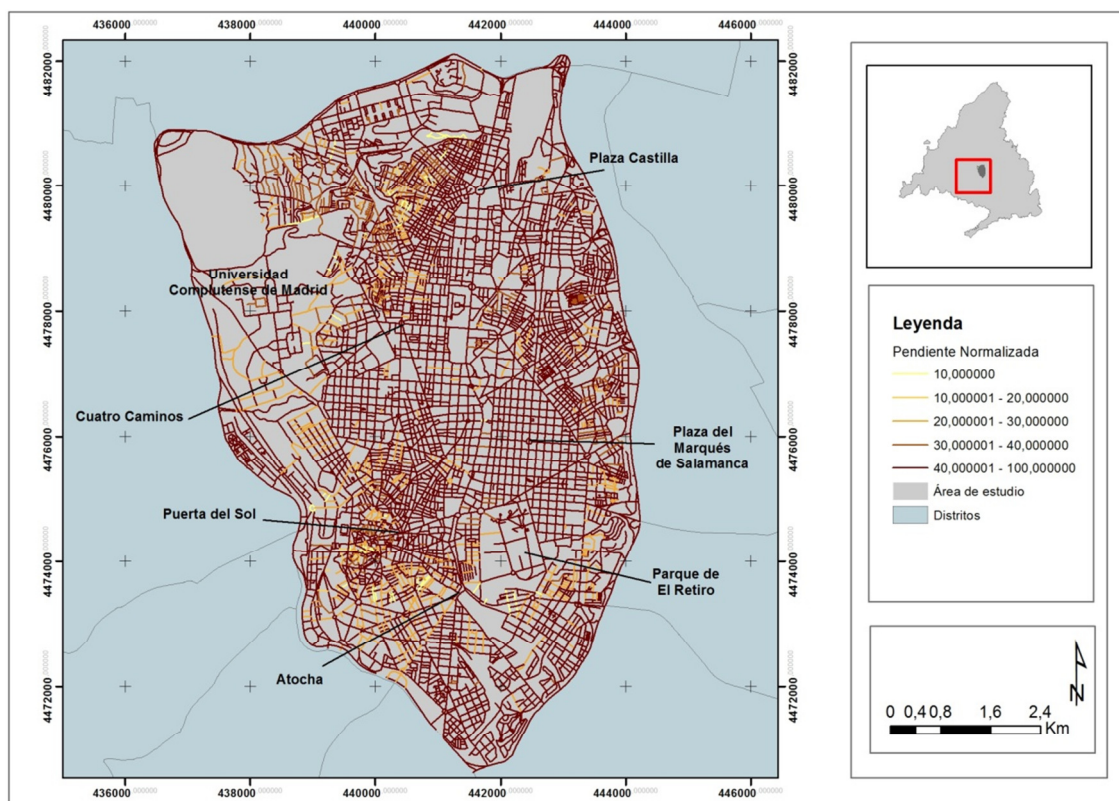
- Para las pendientes inferiores al -7%, le daremos un valor de 20, por tratarse de una pendiente descendente, que supone un esfuerzo menor que una ascendente.
- Las pendientes que se sitúan entre -6.99% y -3%, tendrán un valor de 40, por tener un porcentaje inferior al anterior.
- Las pendientes situadas en el intervalo -2.99% y 0.01%, se le asignará un valor de 100, por tratarse de una pendiente favorable para caminar.

- Las pendientes que se sitúan entre 0% y 2.99%, tendrán un valor de 98, inferior al anterior, porque se trata de una pendiente ascendente, pero sigue siendo una pendiente adecuada para caminar.
- Las pendientes que estén entre 3% y 6.99%, se le asignará un valor de 30, inferior a las de signo contrario, por tratarse de pendientes ascendentes.
- Para las pendientes superiores al 7%, tendrán un valor de 10, porque suponen un gran esfuerzo para el caminante.

Con respecto a esto, hay que hacer una puntualización, pues que una calle tenga una pendiente ascendente o descendente estará determinado por el sentido por el que el viandante circule. Es decir, que podemos indicar que una calle tiene una pendiente de -6%, pero puede darse que esa pendiente también sea del 6%, porque el viandante circula en otra dirección.

Lo que hemos hecho en este caso, es poner distintos valores a las pendientes ascendentes y a las descendentes, dando una mayor importancia a este último tipo porque son más caminables. Y esto lo hacemos en una capa que está preparada para realizar análisis de redes, concretamente, para determinar aquellos caminos mínimos o rutas. Entonces, el sistema utilizaría como valor si la pendiente es positiva o negativa, según el sentido en que se recorra el trayecto a realizar.

Mapa 16: Resultado de normalizar el campo que contiene las pendientes de cada una de las calles de la Almendra Central de Madrid.



En resumen, los valores ideales de cada una de las variables serían los siguientes, que tras la normalización tendrían valores cercanos a 100:

- Indicador de arbolado: ese valor 100 representa un indicador elevado, es decir, un alto número de árboles por longitud de arco. El valor máximo de este indicador sería 0.55.
- Pendiente: nos interesan los valores comprendidos entre el -3% y 3%.
- Tamaño de las aceras: que tenga un ancho superior a 6 metros.
- Seguridad: lo ideal son aquellos arcos que tienen un número de incidentes cercano a 0.
- Comercio: en este caso, nos interesan aquellos arcos que tienen un alto número de establecimientos.
- Usos del suelo: nos interesan los datos cercanos a 0.77, pues significa que se trata de un entorno heterogéneo.

3.3.2. Método basado en la media aritmética.

Este método se fundamenta en la realización de la media aritmética del conjunto de variables que estamos utilizando. Se trata de sumar todos los valores y dividirlos entre el total de variables. La fórmula sería:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Dónde: n , es el total de variables empleadas.

a_n , cada una de las variables que se utilizaran.

Entonces, tendríamos lo siguiente:

$$x = \frac{[\text{árboles}] + [\text{aceras}] + [\text{usos del suelo}] + [\text{pendiente}] + [\text{seguridad}] + [\text{comercio}]}{6}$$

De esta forma, cada una de las variables tiene el mismo peso en el Índice de “camabilidad”.

3.3.3. Método basado en la media ponderada.

A diferencia del método anterior, cada una de las variables va a tener una importancia distinta en el Índice que vamos a elaborar. Lo que vamos a hacer y cómo se puede apreciar en la siguiente fórmula, vamos a multiplicar cada variable por su correspondiente peso y el resultado que obtengamos de sumarlas, lo dividiremos por la suma de los pesos que hemos asignado.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{x_1 w_1 + x_2 w_2 + x_3 w_3 + \dots + x_n w_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n}$$

Dónde: n , es el total de variables empleadas.

x_n , cada una de las variables que se utilizaran.

w_n , como el peso correspondiente a cada variable.

La dificultad de este método reside en asignar el peso adecuado a cada variable, pues tenemos que analizar las características generales de la zona, la importancia que otros autores le han dado a una/s variable/s, entre otros aspectos.

En este caso, los pesos que vamos a asignar son los que se observan en la siguiente tabla, que diferenciamos entre dos tipos, ya que haremos dos fórmulas de media ponderada con distintos pesos.

Tabla 4: Pesos asignados a cada una de las variables utilizadas en el Índice de “Caminabilidad”, en función de su importancia.

VARIABLES	PESOS	
	TIPO 1	TIPO 2
Árboles	3	3
Aceras	4	3
Usos del suelo	2	3
Pendiente	2	2
Seguridad	5	5
Comercio	4	4
TOTAL	20	20

La fórmula quedaría de la siguiente forma, para los pesos de tipo 1:

$$\bar{x} = \frac{[\text{árbol}.* 3] + [\text{ácer}.* 4] + [\text{usos} * 2] + [\text{pend}.* 2] + [\text{segur}.* 5] + [\text{comerc}.* 4]}{20}$$

En lo referente a la asignación de pesos de Tipo 1, como vemos en la anterior tabla, las variables seguridad, comercio y aceras son las que reciben un peso mayor con respecto al resto. Esto se debe a que, la primera es un factor a tener muy en cuenta por el viandante, ya que si la calle tiene un alto número de incidentes, como por ejemplo atracos, accidentes, entre otros, va a tender a evitarla y a elegir otra calle para realizar su trayecto. En el caso de la segunda variable, como hemos mencionado, una calle que cuenta con un gran número de establecimientos es más atractiva, de forma que se hace más entretenida y atrayente para el viandante. La tercera, igual que la anterior, recibe un peso de 4, porque el tamaño de la acera es otra de las razones por las que se elige un trayecto u otro. Pues, si para llegar a nuestro destino, podemos caminar por una calle que supere con creces el mínimo establecido para el ancho de la acera, obviamente elegiremos esta calle y no otra, por la que tendremos que caminar tropezando con otros viandantes o salvando obstáculos.

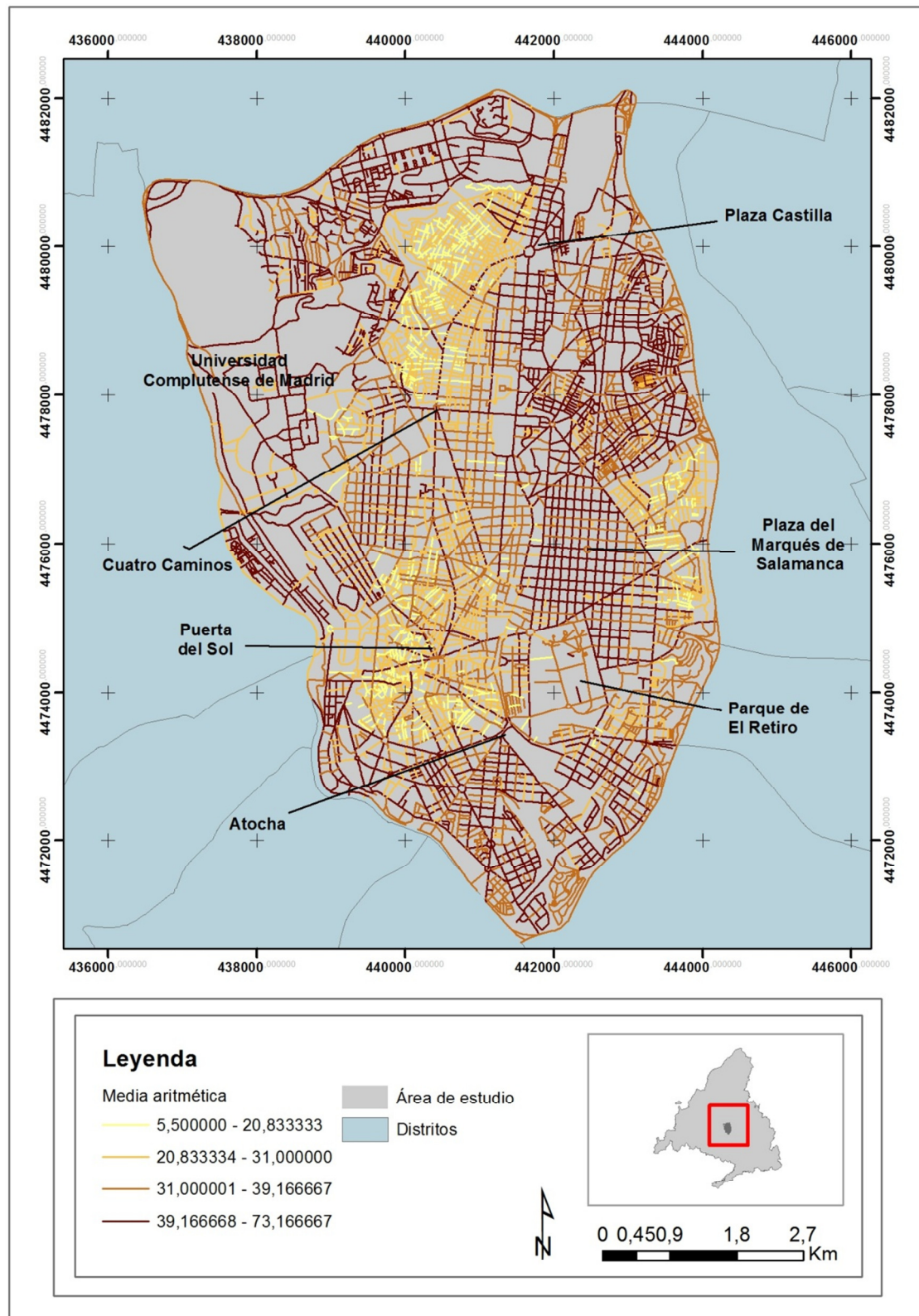
Después, tenemos el caso de las otras variables, que pueden tener una influencia menor en la elección del trayecto. Con respecto a la variable Árboles, tiene un peso mayor que las otras, porque la existencia de este elemento hace más agradable el camino y hace que las calles sean más hermosas para el que camina por ellas. En cuanto a la variable Pendiente, le asignamos un peso menor porque en nuestra zona de estudio la mayoría de las calles tienen una pendiente entre -3% y 3%, que son óptimas para caminar de una forma cómoda, sin esfuerzos. Y, por último, la variable Usos del suelo, que recibe el mismo peso que la anterior, porque no es un factor tan influyente como

otros. También, es indiscutible que, en cierta manera influye que exista una heterogeneidad en los usos, que exista una variedad que consiga atraer al viandante.

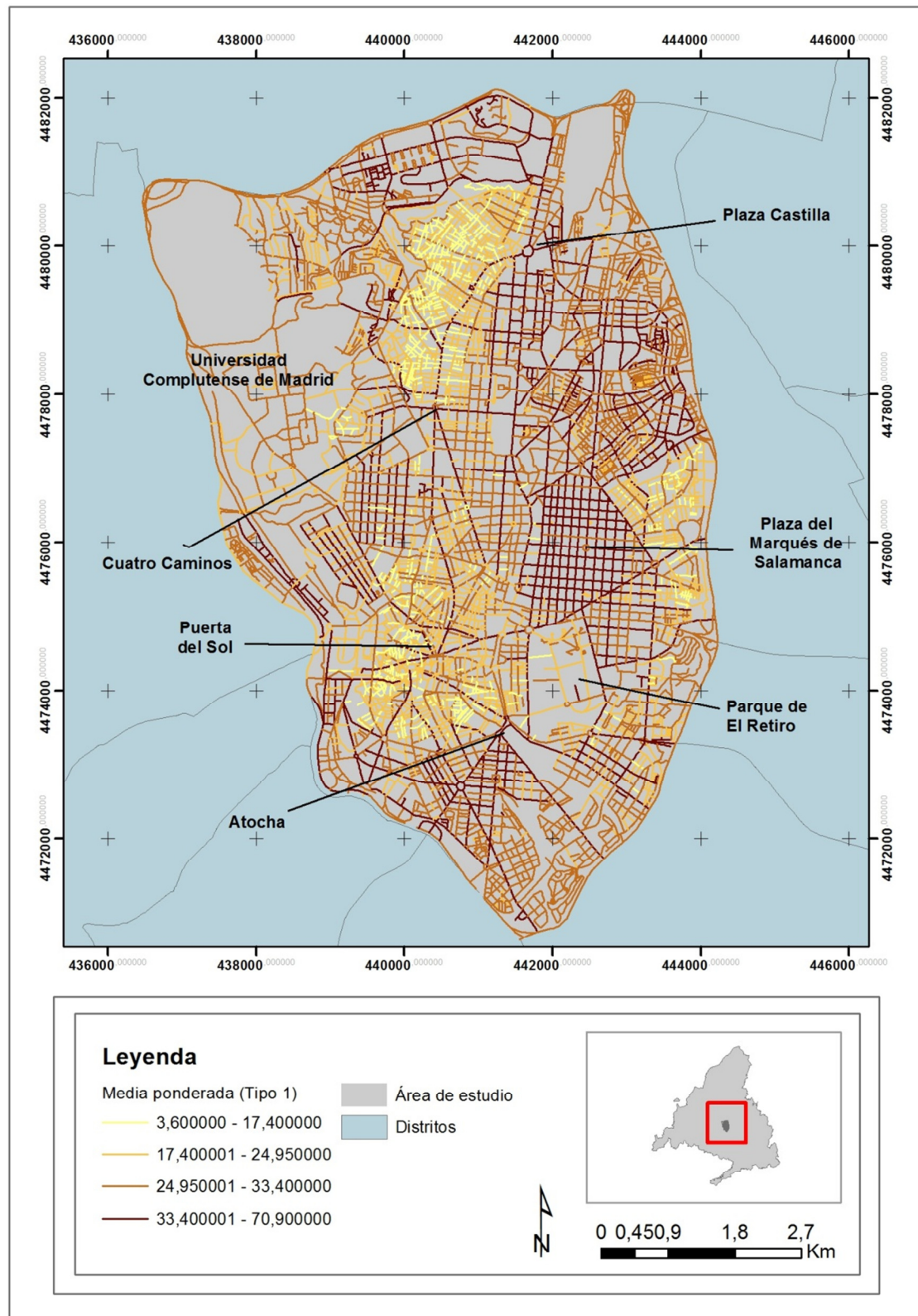
En cuanto a los pesos de Tipo 2 asignados a las variables, los únicos cambios que hemos realizado es asignar a la variable “aceras” un punto menos en su peso, pasando de 4 a 3. Mientras que, la variable “Uso”, le damos una importancia igual a la anterior variable, o sea un peso de 3. Esto se debe a que, como mencionamos, la heterogeneidad pueda llegar a influir en el medio urbano, desde el punto de vista de la “camínabilidad”.

4. RESULTADOS.

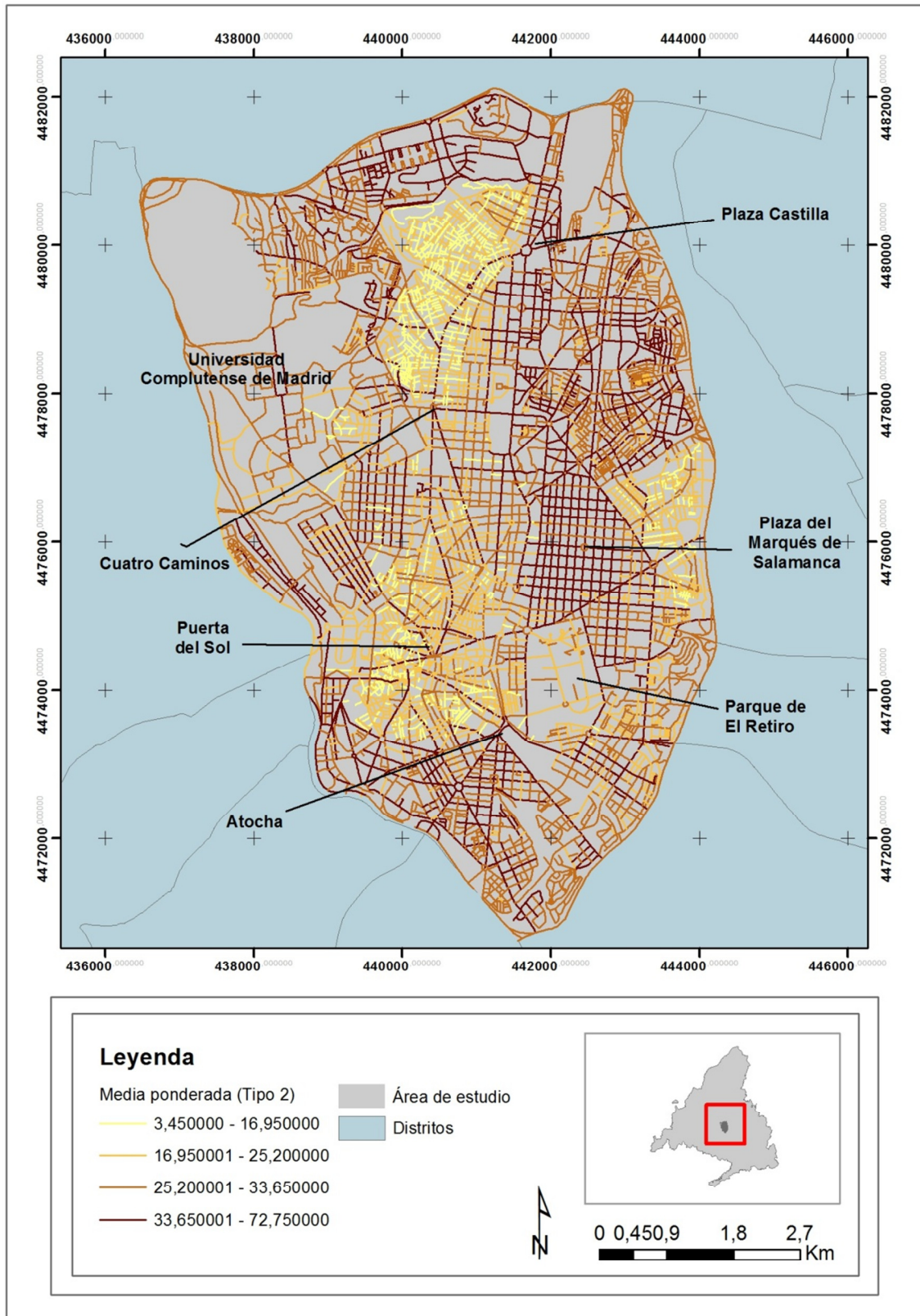
Mapa 17: Resultado de realizar la media aritmética del conjunto de variables utilizadas para nuestra área de estudio.



Mapa 18: Resultado de realizar la media ponderada con los pesos de tipo 1 para el conjunto de variables de la Almendra Central de Madrid.



Mapa 19: Resultado de realizar la media ponderada con los pesos de tipo 2, para el conjunto de variables utilizadas.



Como podemos observar en los tres mapas resultantes de los dos métodos utilizados, existe un resultado común en nuestra área de estudio: un bajo índice de “Caminabilidad” en la zona central y un alto índice en el entorno de esta zona, dirigiéndonos hacia la M-30, límite de la Almendra Central. Esto se debe a las características propias de cada zona, principalmente a las variables referentes a la seguridad, comercio y ancho de las aceras, que ofrecen unas mayores diferencias con respecto a las restantes.

En primer lugar, como pudimos ver en el mapa de delitos, en general, la Almendra central no tiene un alto número de incidentes. Pero de forma más concreta, podemos diferenciar zonas e incluso calles, que ese número se dispara con respecto a su alrededor. Este es el caso, por ejemplo, de la Calle de Embajadores con 272 incidentes producidos en ella, Bravo Murillo con 257, Alcalá o Delicias que también superan los 200 delitos, calle Orense, o distritos como Chamberí o Salamanca que tienen una alta concentración. En el lado contrario, tendríamos los distritos de Moncloa – Aravaca o El Retiro, donde las incidencias son menores, pudiendo ser consecuencia de que la primera se caracteriza por ser una zona universitaria y la segunda porque parte de su área está ocupada por uno de los parques más grandes de Madrid.

Y me gustaría recordar, que estas incidencias agrupan un gran número y variedad de tipos, como pueden ser los atropellos de peatones, accidentes de coche, robos, etc.

En segundo lugar, una variable que creemos que es importante, es el ancho de las aceras, que nos permitió observar que existen unos valores muy altos, superando los 6 metros de ancho, en la mayoría de calles de nuestra área de estudio. Teniendo como excepción clara, las calles que se encuentran en los distritos Centro, Tetuán y parte de Chamberí, que presentan valores por debajo de los 6 metros, siendo zonas en las que la comodidad para caminar es menor. Esto se debe al tipo de morfología urbana que poseen, que se caracteriza por tener calles estrechas que no tienen una estructura claramente ordenada y planificada, como puede ser el Barrio de Salamanca.

Otra de las variables que más influencia tiene, es el comercio, por ejercer un poder atracción en los viandantes. En general, se aprecia que hay determinadas calles que sobresalen por la gran cantidad de establecimientos que tienen, como por ejemplo: Serrano o Príncipe Vergara en el Distrito de Salamanca, Bravo Murillo en Tetuán, Gran vía en el Centro, y distritos como Moncloa – Aravaca que el número de establecimientos en la mayoría de calles, se acerca al mínimo, por tratarse de una zona universitaria.

En cuanto al caso de las variables Arbolado y Usos del suelo, la primera está bien distribuida por el área de estudio pero destaca, principalmente, la zona de Chamberí, Salamanca, Chamartín y parte de Arganzuela, por ser zonas muy arboladas. Mientras que en la segunda, es de nuevo Moncloa – Aravaca y Chamartín, a la que se le añade la totalidad del distrito de Arganzuela, los que presentan un alto índice de entropía, es decir, una alta variabilidad de usos del suelo. Y esto también se puede observar en el propio mapa de los usos del suelo, donde vemos que son los distritos centrales los que

presentan una variabilidad menor, como consecuencia del predominio del uso Residencial Multiple y escasez de otro tipo de usos.

Después, tenemos variables que no tienen una influencia tan clara en ambos métodos, por la tendencia de igualdad de sus valores. Este es el caso de la variable pendientes, donde la mayoría de calles tienen una pendiente que consideramos óptima para caminar, entre -3% y 3%, siendo muy pocas las que se encuentran fuera de los límites de este intervalo, como algunas calles del distrito Centro o de Moncloa – Aravaca.

Con respecto a las variaciones que se producen entre los tres métodos, se observa que cuando utilizamos la media ponderada y asignamos unos determinados pesos a cada una de las variables, aquellas calles que tenían un Índice de “Caminabilidad” elevado, son aún más caminables. Esto se debe a que variables como la seguridad o el ancho de las aceras, que tienen unos valores óptimos en esas zonas, y son las que tienen un mayor peso o están entre las más importantes dentro de la media ponderada. Por lo tanto, si se mantienen estas y cambios el peso de las variables restantes, nos vamos a encontrar con dicha situación, con que hay un conjunto de variables que tienen unos valores adecuados para la caminabilidad.

Entonces, la principal diferencia entre ambos métodos, es que la media aritmética suaviza los resultados, mientras que las dos medias ponderadas, van a tender a acentuar esos resultados y, por lo tanto, a acrecentar las diferencias entre el centro y la periferia de nuestra área de estudio. Sobre todo porque influye la importancia que se le dé a cada una de las variables.

5. CONCLUSIONES.

Este análisis nos ha permitido determinar qué zonas de la Almendra Central de Madrid tienen un alto y bajo índice de “caminiabilidad” y qué variables son las que influyen en él. En general, son dos aspectos muy importantes en la planificación de cualquier ciudad, tanto para sus futuros desarrollos como para los cambios que se puedan producir en zonas ya edificadas.

Para los futuros desarrollos, puede ser determinante saber concretamente que variables del entorno urbano influyen para que este llegue a ser caminable, a tener unos altos índices de “caminiabilidad”. Sobre todo en aquellas variables que pueden ser previsibles, es decir, aquellas que tienen que ver con las características físicas y medioambientales, como por ejemplo, los que llevamos citando a lo largo de nuestro trabajo: el ancho de las aceras o el número de árboles por tramo de calle. Pues, variables como la Seguridad o el Comercio, hay que ir modificándolas a medida que ese nuevo entorno se va creando, con unas determinadas medidas, que contribuyan a su mejora y a alcanzar unos valores óptimos en el Índice de “caminiabilidad” para esa zona.

En lo que respecta a los cambios que se pueden llegar a producir en las zonas ya edificadas, como pueden ser los casos de los distritos centrales de la Almendra Central, habría que analizar hasta qué punto se puede llevar a cabo cambios en este tipo de entornos. Pues, en ocasiones, por ejemplo, nos podemos encontrar que no se puede realizar una ampliación del ancho de acera debido al ancho de la propia calle, o que no es adecuado cambiar una zona, que posee un determinado uso por otro tipo de usos que hagan aumentar la variabilidad de usos en el entorno.

Por ello, relacionado con este tema, tendríamos un sinfín de posibles temas a desarrollar o cuestiones que nos pueden surgir a raíz de este estudio, y que podrían dar solución a muchos de los problemas que se plantean dentro de una ciudad. Principalmente, con el objetivo de lograr una ciudad sostenible y con una calidad de vida óptima para sus habitantes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no podría haberse realizado sin los conocimientos adquiridos en el Máster de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Complutense de Madrid, sin la ayuda de cada uno de los profesores que han impartido clase y que, de alguna manera, han aportado ese granito de arena necesario para llevarlo a cabo.

Sobre todo, mis más sinceros agradecimientos, al Dr. Javier Gutiérrez Puebla por ser el tutor del presente trabajo, por guiarme y ayudarme a resolver las dudas que surgieron durante su elaboración.

También, quería dar las gracias a mis compañeros de Máster por los buenos momentos que hemos pasado juntos y por la ayuda que nos hemos prestado a lo largo de estos meses. Gracias Cristina.

Gracias a mi familia y a la familia de mi pareja. Gracias abuelo.

Y a Luis, muchas gracias por todo tu apoyo y por saber soportarme.

6. REFERENCIAS.

Observatorio de la Seguridad de Madrid (2007). *Atlas de la Seguridad de Madrid*. Ayuntamiento de Madrid.

Boletín Oficial del Estado (2010). *Disposiciones Generales: Ministerio de Vivienda*. BOE Número 61, Sección I.

Comisión Europea (2004). *Hacia una estrategia temática sobre el medioambiente urbano*. Diario Oficial C 98 de 23 de abril de 2004.

Frank, Lawrence D.; Sallis, James F.; Conway, Terry L.; Chapman, James E.; Saelens, Brian E. y Bachman, William (2007). *Many pathways from land use to health: Associations between neighborhood walkability and active transportation, Body Mass Index and air quality*. Journal of the American Planning Association, 72:1, 75-87.

Giles-Corti, Billie y Donovan, Robert J. (2003). *Relative Influences of Individual, Social Environment and Physical Environmental Correlates of Walking*. American Journal of Public Health, 93, 1583-1589.

Greenberg, R. y Renne, John (2005). *Where does walkability matter the most? An environmental justice interpretation of New Jersey data*. Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine, 82, 90-100.

Humpel, N.; Owen, N.; Leslie, E.; Marshall, A.; Bauman, A. y Sallis, J. F. (2004). *Associations of location and perceived environmental attributes with walking in neighborhoods*. American Journal of Health Promotion, 18, 39-42.

Leslie, Eva; Coffee, Neil; Frank, Lawrence; Owen, Neville; Bauman, Adrian y Hugo, Graeme (2007). *Walkability of local communities: Using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes*. Health and Place, 13, 111-122.

Secretaría de estado de transportes, Secretaría General de transportes y Dirección General de transporte terrestre (2010). *El transporte urbano y metropolitano en España*. Ministerio de Fomento.

Owen, Neville; Humpel, Nancy; Leslie, Eva; Bauman, Adrian y Sallis, James F. (2004). *Understanding environmental influences on walking. Review and research agenda*. American Journal of Preventive Medicine, 27, 67-76.

Owen, Neville; Cerin, Ester; Leslie, Eva; duToit, Lorinne; Coffee, Neil; Frank, Lawrence D.; Bauman, Adrian E.; Hugo, Graeme; Saelens, Brian E.; y Sallis, James F.

(2007). *Neighborhood Walkability and the walking behavior of Australian adults*. American Journal of Preventive Medicine, 33, 387-395.

Pozueta, Julio (2000). *Movilidad y planeamiento sostenible: Hacia una consideración inteligente en el planeamiento y en el diseño urbano*. Cuadernos de Investigación Urbanística, 30.

Rosenberg, Dori; Dong, Ding; Sallis, James F.; Kerr, Jacqueline; Norman, Gregory J.; Durant, Nefertiti; Harris, Sion K. y Saelens, Brian E. (2009). *Neighborhood environment walkability scale for youth (NEWS-Y): Reliability and relationship with physical activity*. Preventive Medicine, 49, 213-218.

Rundle, Andrew; Neckerman, Kathryn M.; Freeman, Lance; Lovasi, Gina S.; Purciel, Marnie; Quinn, James; Richards, Catherine; Sircar, Neelanjana y Weiss, Christopher (2009). *Neighborhood food environment and walkability predict obesity in New York city*. Environ Health Perspect, 117, 442-447.

Saelens, B.E.; Sallis, J.F.; Frank, L.D. (2003). *Environmental correlates of walking and cycling: findings from the transportation, urban design and planning literatures*. Annals of Behavioral Medicine, 25, 80-91.

Shay, Elizabeth; Spoon, Steven C.; y Khattak, Asad J. (2003). *Walkable Environments and Walking Activity*. Carolina Transportation Program. University of North Carolina at Chapel Hill.

Zhu, Xuemei.; BArch; Lee, Chanam; PhD (2008). *Walkability and safety around elementary schools: Economic and Ethnic disparities*. American Journal of Preventive Medicine, 34, 282-290.